MINERAL BULLETIN MR 219

BAUXITE AND ALUMINA

IMPORTED MINERAL COMMODITIES

1987

Energy, Mines and Resources Canada

Hon. Marcel Masse, Minister

Énergie, Mines et Ressources Canada

L'hon. Marcel Masse Ministre

© Minister of Supply and Services Canada 1988

Available in Canada through

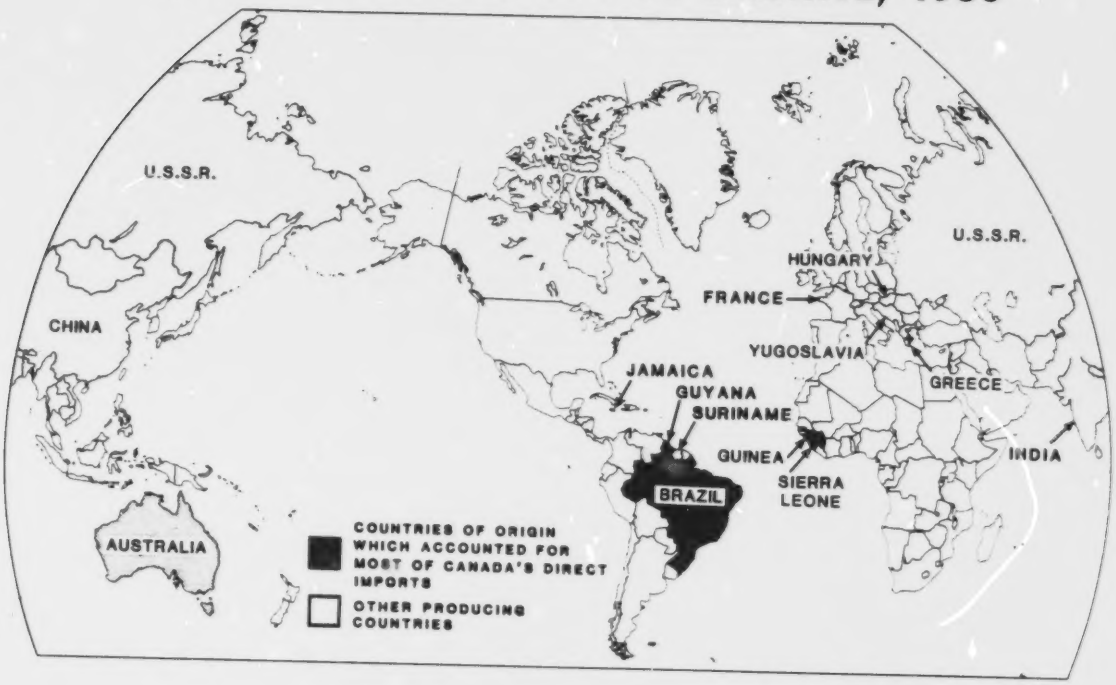
Associated Bookstores
and other booksellers

or by mail from

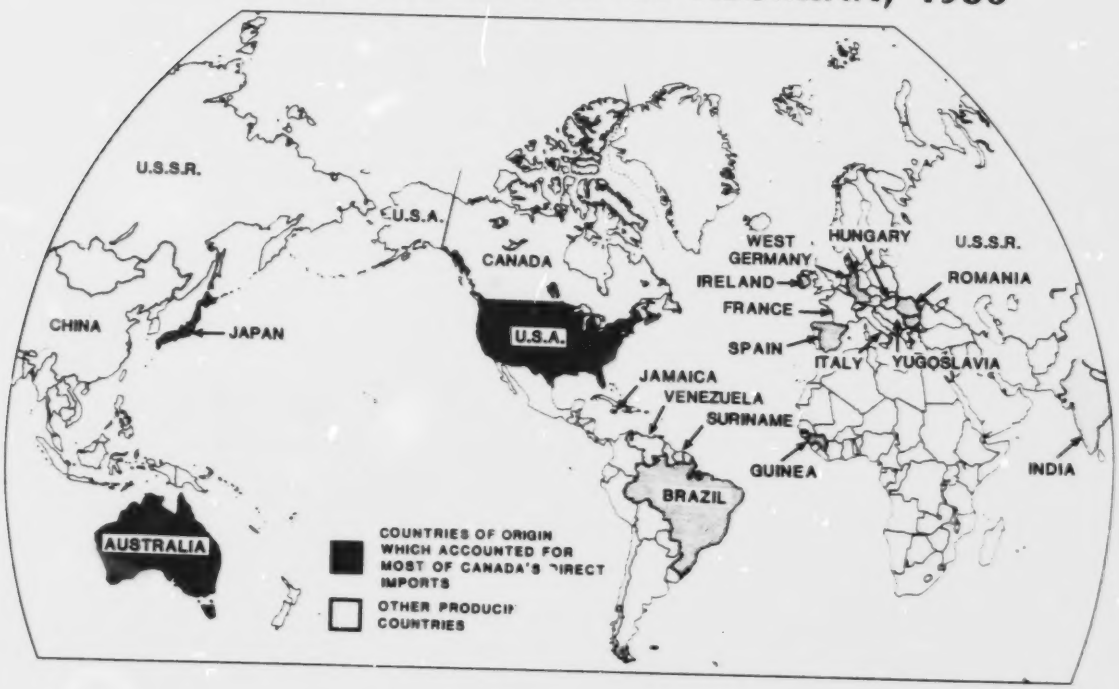
Canadian Government Publishing Centre
Supply and Services Canada
Ottawa, Canada, K1A 0S9

Catalogue No.: M38-2/219
ISBN: 0-660-54194-7

PRINCIPAL PRODUCERS OF BAUXITE, 1986



PRINCIPAL PRODUCERS OF ALUMINA, 1986



FOREWORD

Producing some 60 mineral commodities, Canada ranks third in the world - after the United States and the U.S.S.R. - in value and diversity of mineral production and is the world's foremost exporter of minerals.

As Canada enjoys a privileged position - not only because of the substantial mineral resources within its borders but also because it has the ability to produce most of its own mineral requirements - it may come as a surprise to many Canadians that the value of annual imports of mineral and mineral-based products amounts to several billion dollars.

Some of these products, such as iron ore and various industrial minerals, are also mined in this country; others, such as bauxite, chromium, manganese, and phosphate rock, are not.

To determine Canada's vulnerability to shortages in supply of a particular imported mineral product, answers must be sought to questions such as:

- In what countries does the given mineral product originate?
- What routes does it follow in coming to Canada?
- How vulnerable is this supply chain to political or other disruptions?
- How much of the mineral product is used to produce what?
- Are there alternative sources of supply?
- What are the substitute materials that can be obtained domestically or from other countries?
- What actions would be required to obtain this mineral product from another source or to use a substitute?
- In summary: to what degree is Canada's future supply at risk for the mineral product in question and what should be done about it now?

This report on BAUXITE-ALUMINA, materials used in Canada to produce aluminum metal, looks at two of the relatively few raw materials for which Canada is currently totally dependent on imports. It is the seventh in a series aimed at assessing possible problems in obtaining supplies of selected non-fuel minerals, to provide background information for government policy, which might involve such actions as guiding research that could lead to less dependence on external sources. The general topic of strategic minerals is addressed by R.J. Shank in "Canada's Dependence on Imported Minerals and Metals - The Issues", Mineral Policy Sector Internal Report MRI 81/7.

The following individuals in the Department of Energy, Mines and Resources cooperated in the preparation of this report: Dr. A.H. Webster, Canada Centre for Mineral and Energy Technology; Dr. H. Dunsmore, Geological Survey of Canada; and G. Bokovay, T.C. Newman, and Dr. J. Zwartendyk of the Mineral Policy Sector.

The study was coordinated by Dr. A.B.T. Werner of the Resource Evaluation Division, Mineral Policy Sector.

Ron R. Sully
Assistant Deputy Minister
(Mineral Policy)

TABLE OF CONTENTS

	Page
INTRODUCTION	1
PART I. FORMS AND USES	2
PART II. SOURCES OF BAUXITE AND ALUMINA REQUIRED IN CANADA	5
General	5
Ownership Aspects	10
Review of Source Countries	10
Review of Corporate Connections	15
The International Bauxite Association (IBA)	19
PART III. POSSIBILITIES OF ALUMINA PRODUCTION FROM DOMESTIC SOURCE ROCKS	21
PART IV. SUMMARY AND CONCLUSIONS	23

APPENDICES

1.	SOME RECENT PRICES OF BAUXITE AND ALUMINA	25
2.	WORLD RESERVES AND PRODUCTION	26
	World Reserves	26
	World Production of Bauxite	27
	World Production of Alumina	32
3.	ALUMINA FROM NON-BAUXITE SOURCES	37
	Background	37
	Types of Deposits	37
	Processes for the Extraction of Alumina	41
4.	GENERAL REFERENCES	49

Page

TABLES

1. Principal Aluminum-bearing Minerals 2

2. Typical Specifications for Grades of Bauxite 3

3. Estimated Canadian Consumption and Sources of Alumina, 1986 5

4. Imports of Bauxite and Alumina, 1985 and 1986 8

5. Bauxite and Alumina Production in Canada's Main Supplier Countries, 1985 10

6. United States Bauxite Stockpile Status as of September 30, 1986 15

A-1 World Reserves 26

A-2 World Mine Production of Bauxite, by Country, Selected Years, from 1960 to 1986 27

A-3 Principal Western World Producers of Bauxite 28

A-4 World Production of Alumina, by Country, Selected Years, from 1960 to 1985 32

A-5 Principal Western World Producers of Alumina 34

FIGURES

Frontispiece: Principal Producers of Bauxite, 1986; Principal Producers of Alumina, 1986

1. Aluminum Smelters in Eastern Canada, 1987 6

2. Canada, Imports of Bauxite and Alumina, 1964-86 9

3. Bauxite Mines and Alumina Refineries in Australia, 1987 12

4. Alcan Group's Corporate Links in Canada's Supply of Bauxite and Alumina, 1987 16

5. Reynolds' and A.B.I.'s Corporate Links in Canada's Supply of Bauxite and Alumina, 1987 17

INTRODUCTION

Bauxite, the principal ore of aluminum, is a rock composed of aluminum hydroxides and impurities such as silica, clay, titanium dioxide and iron hydroxides.

By far the greatest use for bauxite is in the preparation of alumina (aluminum oxide). In turn, the greatest use for alumina is as feed for the production of aluminum metal. In this process, 4 to 5 tonnes of dried bauxite yield some 2 tonnes of alumina, which, in turn, yield 1 tonne (t) of metal.

Certain special grades of bauxite are used to make abrasives and refractory products.

Alumina for metal production is prepared by dissolving dried bauxite in a solution of caustic soda, filtering off the liquid solution, precipitating its aluminum hydroxide content and heating it to over 1100°C to drive off all forms of moisture in a process called calcining. Fused alumina for use in abrasives is made by calcining dried bauxite and then fusing the calcined product in an electric arc furnace.

In 1986, Canada produced some 1.4 Mt of aluminum metal, worth an estimated $2 200 million, of which some 85% was exported, mostly to the United States. Canadian output represented about 11% of primary aluminum output in the western world.

Canada's three aluminum metal producers, who depend entirely on imports of some $70 million worth of bauxite and some $350 million worth of alumina for their operations, are: 1) Alcan Smelters and Chemicals Limited, a subsidiary of Alcan Aluminium Limited, 2) Canadian Reynolds Metals Company, Limited, a subsidiary of Reynolds Metals Company of the United States, and 3) Aluminerie de Bécancour Inc. (A.B.I.), a joint venture operation owned by Reynolds Metals Company (25.05%), Pechiney S.A. of France (25.05%), Alumax Inc., a fully-owned subsidiary of AMAX Inc., of the United States (24.95%) and the Government of Quebec through Albecour Inc., a fully-owned subsidiary of the Société générale de financement du Québec (SGF) (24.95%).

The North American fused alumina industry, which makes energy-intensive unfinished raw materials for the abrasives industry, is centred in the Niagara Falls area of Ontario and New York state. The fused alumina industry's annual output of some $70 million is important but it is small compared with the $2 200 million output of the aluminum metal industry. General Abrasive Operations Dresser Canada, Inc., Norton Company, and Washington Mills Limited produce brown fused alumina at Niagara Falls, Ontario. The Exolon-ESK Company of Canada, Ltd. makes this material at Thorold, Ontario. Most of this Canadian-made crude alumina grain is exported to the United States; Canada supplies about three quarters of North American requirements for this product.

PART I. FORMS AND USES

Alumina (aluminum oxide) is the principal constituent of many naturally occurring clay minerals such as gibbsite, boehmite and diaspore (Table 1). Bauxite deposits, which result from the weathering, under tropical conditions, of feldspars in certain rock types, contain various proportions of these clay minerals.

Table 1

Principal Aluminum-bearing Minerals

Mineral	Formula	Alumina Content (%)
Boehmite[1]	$Al_2O_3-H_2O$)	
	)	77.95 - 84.98
Diaspore	$Al_2O_3-H_2O$)	
Gibbsite	$Al_2O_3-3H_2O$	62.80 - 65.35
Alunite	$(K, Na), Al_3(SO_4)_2(OH)_6$	36.92 - 39.65

Sources: F.X. McCawley and L.H. Baumgardner, "Aluminum", in U.S. Bureau of Mines, "Mineral Facts and Problems, 1985 Edition", p. 11. C. Palache, H. Berman and C. Frondel, "The System of Mineralogy, Volume I", pp. 665 and 677; "The System of Mineralogy, Volume II", p. 558.
[1] Separate analysis for boehmite not available.

As mined, **crude bauxite** may contain from 5 to 30% free moisture. Heating to up to 320°C in rotary drying kilns results in **dried bauxite,** which is lighter and therefore cheaper to transport. Nonetheless, much bauxite is shipped in its natural moist state to avoid dust problems. If the crude ore is heated to between 900°C and 1100°C, volatile matter including chemically combined water is driven off and **calcined bauxite** is the result[1].

Dried bauxite is the most common form of bauxite shipped. It is used to make alumina of high purity by the Bayer process. Such pure alumina is required as feed material for the production of aluminum metal by the Hall-Héroult method. In the Bayer process, dried bauxite is dissolved in aqueous sodium hydroxide under pressure at about 140°C if the principal aluminum mineral in the bauxite is gibbsite, and at higher temperatures if the bauxite contains boehmite. An insoluble residue, known as "red mud", contains iron oxide, sodium aluminum silicate and other impurities. After separation from the red mud, the liquor is seeded with fine crystals of aluminum hydroxide and the precipitated hydroxide is calcined to alumina at 1100°C to 1200°C.

Calcined bauxite, used in the manufacture of alumina abrasive grain and alumina refractories, has a much smaller market than bauxite/alumina for aluminum metal production. In the manufacture of abrasives the bauxite is fused in an electric arc furnace. Such a furnace calls for the use of bauxite that has been calcined and thus contains neither free water nor combined water. The production of alumina refractories requires the use of calcined bauxite as well because the presence of free or combined water would lead to unacceptably high shrinkage during the firing of refractory alumina bricks.

Specifications for grades of bauxite differ markedly according to intended use. Bauxite for the manufacture of alumina abrasives and refractories must meet more stringent specifications than bauxite for the production of metal (indicated in Table 2).

Table 2

Typical Specifications for Grades of Bauxite

Constitutent	Metal grade (dried Jamaican type)	Abrasive grade (calcined)	Refractory grade (calcined)
	(Weight-percent, maximum content except for Al_2O_3)		
Al_2O_3	47.0(minimum)	83.0(minimum)	86.5(minimum)
Other components:			
SiO_2	3.0	6.0	7.0
Fe_2O_3	22.0	8.0	2.5
TiO_2	3.0	3.0-4.5	3.75
$K_2O + Na_2O$	NS	.7	.2
$MgO + CaO$	NS	NS	.3
CaO	NS	.2	NS
MgO	NS	.4	NS
$MnO_2 + Cr_2O_3 + V_2O_5$	2.0	1.0	1.0
P_2O_5	1.5	.5	NS
Loss on ignition	NS	1.0	.5

Source: F.X. McCawley and L.H. Baumgardner, "Aluminum", in U.S. Bureau of Mines, "Mineral Facts and Problems, 1985 edition", p. 11.
NS No specification.

In the manufacture of alumina abrasives, the calcined bauxite is charged to an electric furnace together with coke and iron turnings. The coke reduces many of the impurities, which combine with iron and sink to the bottom of the furnace. Silica is removed as an iron-silicon alloy. The solidified melt is crushed and ground to produce brown fused alumina grain.

Bauxite for the manufacture of refractories should be low in iron. High-alumina refractories are supplied with 45 to 99% Al_2O_3, with a complementary range in silica.

Some alumina obtained by the Bayer process is fused to make high purity alumina abrasives for use in polishing glass and specialty steels and alloys, and to make the long-life abrasives alumina-zirconia and "Cubitron"[2].

Much of the world's metal-grade bauxite is purchased on long-term contracts; accordingly, it is rarely traded on world commodity markets. Sales of metal-grade calcined alumina are equally limited[3]. Appendix 1 lists price quotations for refractory grade bauxites and various grades of alumina.

The average value per tonne of aluminum raw materials imported into Canada in 1986 was: bauxite ore, $37; bauxite concentrates, $159; alumina for processing into metal, $207; and, other prepared alumina, $451. Canadian exports of fused alumina had an average value of $570 per tonne.

References

1. F.X. McCawley and L.H. Baumgardner, "Aluminum", in U.S. Bureau of Mines, "Mineral Facts and Problems, 1985 Edition", p. 11.

2. S. Toon, "Abrasive Minerals, Hard Work in Soft Markets", Industrial Minerals, No. 231, December 1986, p. 56.

3. L.H. Baumgardner and R.A. Hough, "Bauxite and Alumina", in U.S. Bureau of Mines, "Minerals Yearbook 1985, Vol. 1, Metals and Minerals", p. 107.

PART II. SOURCES OF BAUXITE AND ALUMINA REQUIRED IN CANADA

General

Canada has no bauxite mines and no known bauxite resources.

Canada's only producer of alumina is Alcan Smelters and Chemicals Limited, a subsidiary of Alcan Aluminium Limited. Its Vaudreuil plant, next to the aluminum smelter at Jonquière, Quebec (Figure 1), has the capacity to convert imported bauxite into about 1.2 Mt/y of alumina.

The Vaudreuil alumina plant supplies about two thirds of the roughly 1 500 000 t of alumina required by Alcan's aluminum-metal making plants in Quebec. Alumina imports account for the rest of Alcan's needs for alumina for its metal plants in Quebec and for its smelter at Kitimat, British Columbia. Imported alumina also meets the needs of Canadian Reynolds Metals Company, Limited's plant at Baie Comeau, Quebec, and Aluminerie de Bécancour, Inc. (A.B.I.)'s plant at Bécancour, Quebec (Table 3). The principal sources of bauxite and alumina supply for each of Canada's main aluminum metal producing companies are shown in the frontispiece.

The Bécancour plant, which came into production in 1986, reached less than half of its potential annual output in that year. Full production will require almost 500 000 t of alumina per year.

Table 3

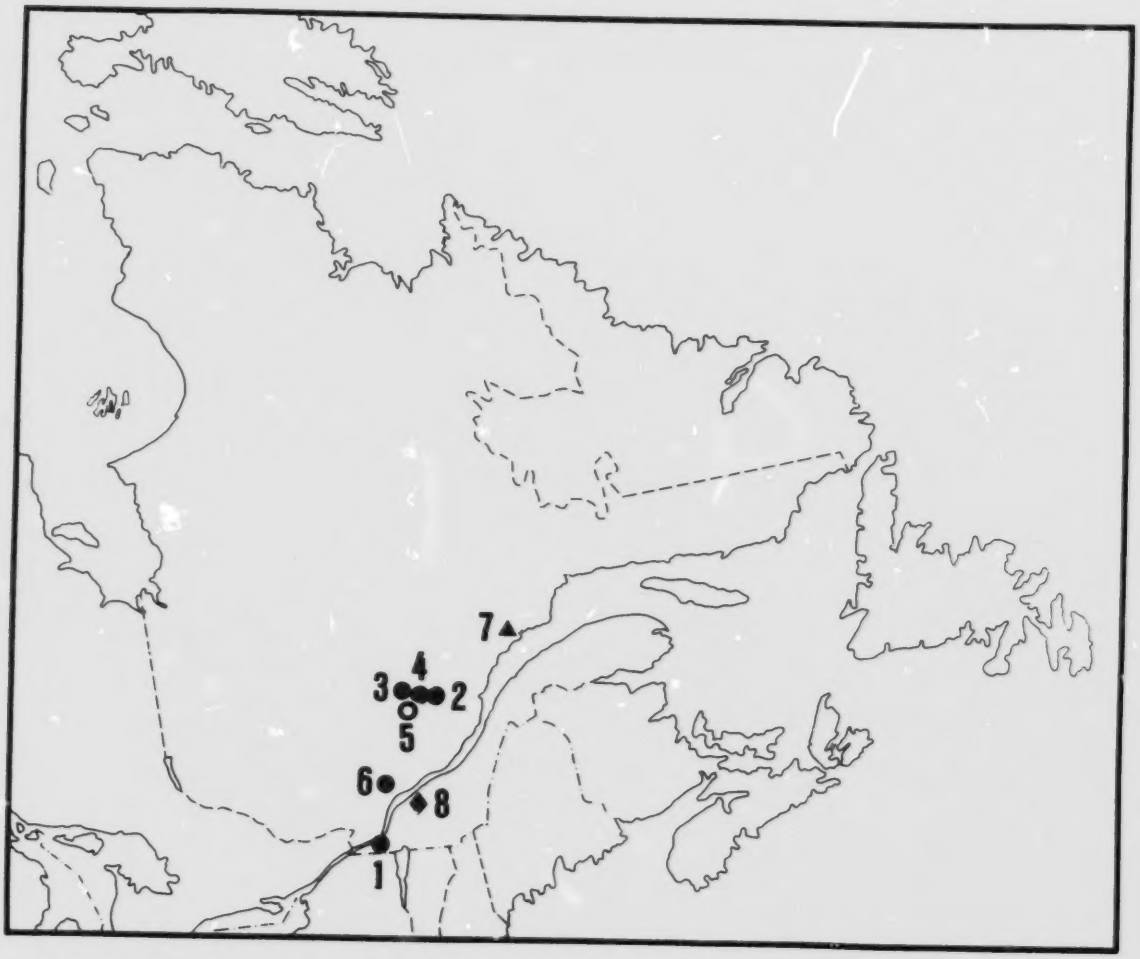
Estimated Canadian Consumption and Sources of Alumina, 1986

Company	Requirement	Source	
		Domestic[1]	Imported
	(000 tonnes, in round numbers)		
Alcan (Quebec smelters)	1 500	1 000	500
Alcan (Kitimat, B.C.)	500	-	500
Canadian Reynolds Metals	500	-	500
Aluminerie de Bécancour	200	-	200
	2 700	1 000	1 700

[1] I.e., made from imported bauxite at Jonquière, Quebec.
- Nil.

FIGURE 1

ALUMINUM SMELTERS IN EASTERN CANADA, 1987



1. BEAUHARNOIS; 2. GRANDE-BAIE; 3. ISLE-MALIGNE; 4. JONQUIÈRE; 5. LATERRIÈRE; 6. SHAWINIGAN; 7. BAIE-COMEAU; 8. BÉCANCOUR.

LEGEND

- ● ALCAN - OPERATING
- ○ ALCAN - UNDER DEVELOPMENT
- ▲ CANADIAN REYNOLDS METALS COMPANY, LIMITED
- ◆ ALUMINERIE DE BÉCANCOUR INC.

Requirements for imported alumina will be further increased by a proposed 50% boost in A.B.I.'s aluminum production capacity, which will make that company's plant at Bécancour the largest individual aluminum production plant in the western world. They are not expected to be affected by the needs of Alcan's new Laterrière smelter (Figure 1), whose construction will be accompanied by the closure of some of Alcan's older Quebec facilities.

In recent years, most of the about 2 Mt/y of bauxite ore imported into Canada originated in Brazil. Guinea, Guyana and Sierra Leone have provided the bulk of the remaining bauxite requirements (Table 4).

Most of Canada's 1.7 Mt of 1986 imports of alumina have come from Jamaica, but Australia is about to overtake it as our prime source. Most of the remainder came from the United States, Japan and West Germany, primarily made from bauxite that these countries had imported: the United States has little domestic output of bauxite, and Japan and West Germany have none. Most of the 200 000 t/y of bauxite concentrates imported into Canada are used to make the 130 000 t of fused alumina for use in abrasives that are annually exported by producers in the Niagara Falls region. About 10 000 t of bauxite and 10 000 t of alumina are used each year by Canadian manufacturers of refractory products[1].

The import statistics presented in Table 4 show the considerable diversity of bauxite and alumina sources. Import patterns for bauxite and alumina since 1964 are shown in Figure 2. Canada does not levy any customs tariffs on imports of bauxite or alumina.

Almost all of Canada's bauxite imports in 1986 were landed in the Province of Quebec. Some abrasive-grade bauxites are shipped up the St. Lawrence Seaway to the port of Thorold, in Ontario.

In recent years, two thirds of the alumina for metal production received in Canada entered in Quebec; the other one third, destined for the Kitimat aluminum plant, entered in British Columbia. The west-coast imports consisted of Japanese and Australian alumina. Of our total alumina imports from Australia, some 70% entered at the west coast; the remaining 30% was shipped to Quebec via the Cape of Good Hope.

Recent closures of alumina plants in West Germany and Japan will bring about significant changes in Canada's sources of supply. West Germany's contribution to Canadian alumina imports fell from 8% in 1986 to none in the first eight months of 1987, while Japan's declined from 18% to 2%. These declines have been offset by additional alumina imports from Australia, which increased its proportion of Canadian imports from 29 to 44% and the United States, whose share rose from 13 to 23%.

The levels of stocks of bauxite and imported alumina held in Canada vary from company to company. Some firms add to their existing stocks on a regular basis; others receive large shipments of raw materials which are then depleted over several months. The industry as a whole may have at least two months' requirements on hand. Annual interest and storage costs of holding additional stocks of alumina and bauxite would amount to at least $4 million per extra month of supplies.

Table 4

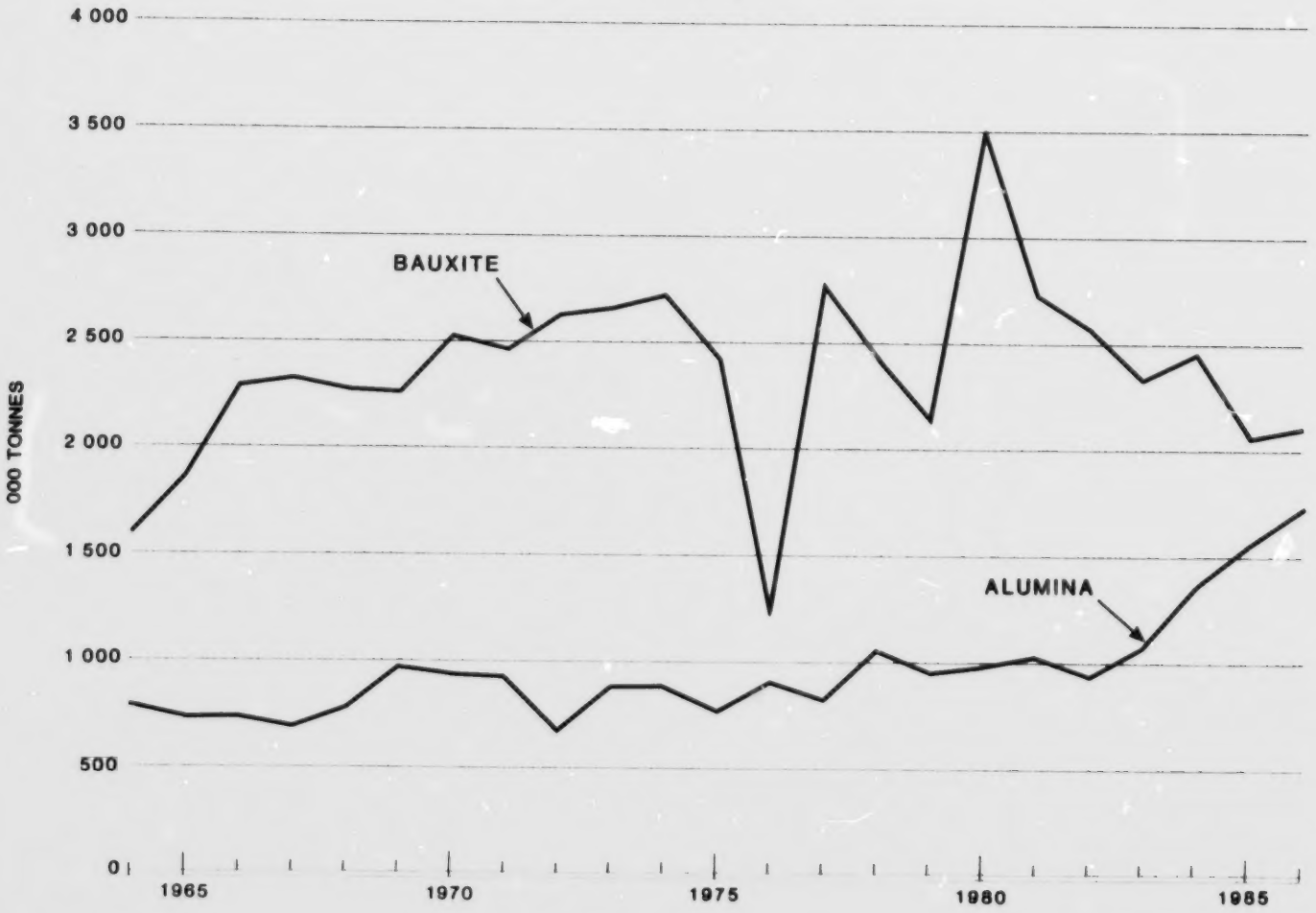
Imports of Bauxite and Alumina, 1985 and 1986

	1985		1986	
	(tonnes)	($000)	(tonnes)	($000)
Bauxite ore				
Brazil	1 401 921	58 300	1 161 621	43 445
Guinea	55 835	1 730	275 661	8 564
Sierra Leone	-	-	241 064	7 806
Guyana	375 331	11 516	204 177	7 615
Greece	9 183	473	27 609	1 497
Suriname	11 989	626	21 366	1 384
China	-	-	14 500	984
United States	2 220	416	2 327	373
Total	1 838 479	73 061	1 948 325	71 668
Bauxite concentrates[1]				
United States	41 602	6 777	45 757	8 527
Guinea	49 561	7 708	39 261	6 026
Guyana	41 088	7 277	32 556	5 821
Australia	51 723	6 662	60 358	3 915
China	51 496	5 326	16 600	1 919
Brazil	11	4	6	2
French Guyana	200	44	-	-
Total	235 681	33 799	164 538	26 211
Alumina, prepared for processing into aluminum				
Jamaica	651 672	137 333	618 194	124 446
Australia	239 100	44 472	501 903	98 758
Japan	286 495	58 458	268 909	57 162
United States	68 725	19 805	226 698	49 734
West Germany	180 720	43 001	52 077	17 253
Venezuela	59 923	6 156	46 012	7 077
France	220	155	167	130
U.S. Virgin Islands	25 038	6 329	-	-
Ireland	28 813	5 309	-	-
Total	1 540 707	321 018	1 713 961	354 560
Alumina, prepared, other				
United States	2 970	1 488	10 004	4 503
Netherlands	-	-	36	29
United Kingdom	2	1	6	3
Jamaica	-	-	5	1
Japan	-	-	1	1
Total	2 972	1 489	10 053	4 537
Alumina/aluminum oxide/natural				
United States	293	163	548	287
Total	293	163	548	287

Sources: Energy Mines and Resources Canada; Statistics Canada.
[1] Includes calcined or causticized bauxite, activated bauxite ore, and some bauxites prepared for processing into aluminum.

FIGURE 2

CANADA, IMPORTS OF BAUXITE AND ALUMINA
1964-86



SOURCE: STATISTICS CANADA

Ownership Aspects

In the country reviews that follow, ownership patterns are of some relevance where security of supply is concerned. In bauxite mining in the western world (Table A-3 in Appendix 2), six companies controlled half of the total production capacity: Aluminum Company of America (Alcoa) 25%, Alcan 10%, Swiss Aluminium Ltd. (Alusuisse) 8%, Reynolds 3%, Péchiney 3% and Kaiser Aluminum & Chemical Corporation (Kaiser) 2%. In alumina production (Table A-5 in Appendix 2), six companies controlled two thirds of the western world's production capacity: Alcoa 27%, Alcan 15%, Reynolds 7%, Kaiser 7%, Alusuisse 5% and Pechiney 5%. A later section, "Review of Corporate Connections", clarifies the connections between operations in Canada and their corporate links with supplier countries.

Review of Source Countries

Information on world reserves, production and supply capability is provided in Appendix 2.

A general impression can be obtained from Table 5 of recent bauxite and alumina production levels in the countries from which Canada draws its supplies.

Table 5

Bauxite and Alumina Production in Canada's Main Supplier Countries, 1985

Country	Bauxite (000 tonnes)	Alumina (000 tonnes)
Australia	32 400	8 792
Brazil	6 650	1 096
Greece	2 500	402
Guinea	13 100	572
Guyana	1 675	0
Ireland	0	557
Jamaica	6 239	1 622
Japan	0	1 336
Sierra Leone	1 145	0
Suriname	3 000	1 242
United States	674	3 465
Venezuela	0	1 120
West Germany	0	1 677

Sources: L.H. Baumgardner, "Bauxite", in U.S. Bureau of Mines, "Mineral Commodity Summaries 1987", p. 19; IBA Review, Vol. 12 No. 3, January-March 1987, p. 26.

Australia. Australia is about to overtake Jamaica as Canada's foremost supplier of alumina. It is a major supplier of alumina to Alcan's operations in British Columbia and to the A.B.I. plant at Bécancour, Quebec.

The most outstanding feature in the world's bauxite and alumina industries has been the great expansion in Australia's production facilities. Bauxite production grew from almost none in 1960 to over 30 Mt in 1985, and alumina production rose correspondingly to some 9 Mt. The average alumina (Al_2O_3) content of the bauxite mined in Australia in 1985 was 31.4%.

Mines in the Darling Ranges of Western Australia accounted for two fifths of national bauxite production, the Weipa deposits in Queensland produced almost an equal amount and the Gove mine in Northern Territory slightly over one fifth. The locations of Australia's production facilities are shown in Figure 3; details on these operations are given in Appendix Tables A-3 and A-5.

No numbers are published on Australian bauxite exports, which are confined to ore mined at Weipa and Gove, but it is estimated that about one sixth of the bauxite produced is exported. Weipa is an important world source of calcined abrasive-grade bauxite.

Of the 8.8 Mt of alumina produced in Australian refineries in 1985, 81.5% was sent overseas and 6% went to Canada.

Brazil. Brazil is Canada's foremost supplier of crude bauxite. This is obtained from Mineração Rio do Norte S.A. (MRN)'s 4.5 Mt/y mine at Trombetas, Para. This company, in which Alcan has a 24% stake, is controlled by the state-controlled Companhia Vale do Rio Doce (CVRD).

Three other mining companies, located in the Poços de Caldas region of Minas Gerais, supply bauxite to the Brazilian domestic market. Each of these companies has an associated alumina production facility.

Another alumina plant, that of Alumínio do Maranhao S.A. (Alumar), located at Sao Luis, obtains its bauxite from MRN.

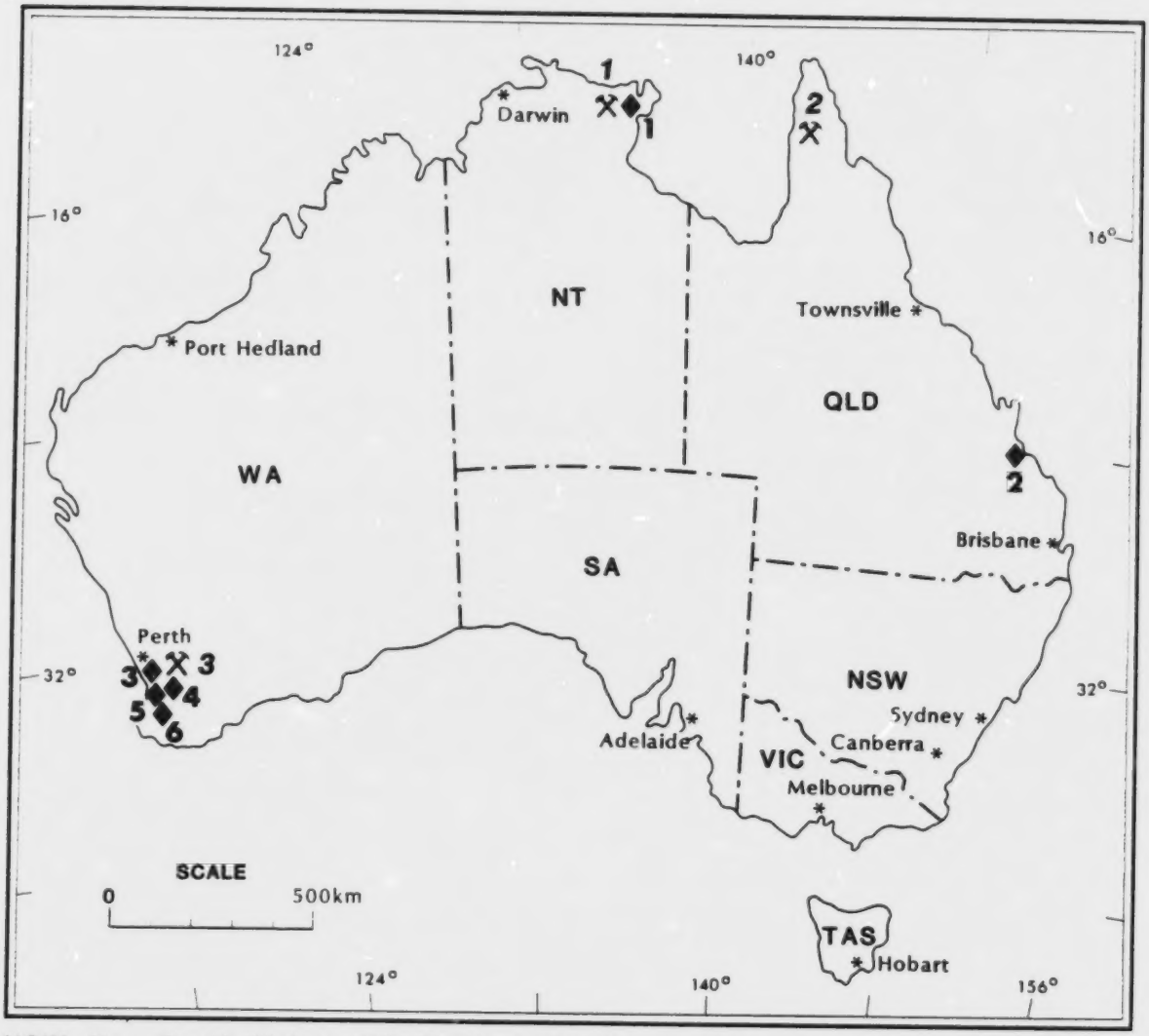
The proposed construction of an 800 000 t/y alumina plant at Barcarenal, Pará by Alumina do Norte do Brasil S.A. (Alunorte) is under review.

China. China is in the process of expanding its domestic aluminum metal industry. In addition, it has been developing export markets for refractory-grade and abrasive-grade bauxites. The latter are mined in the provinces of Henan and Shaanxi and exported through the port of Qingdao.

Greece. Greece has long been one of Europe's foremost producers of bauxite. The Greek aluminum industry is made up of several small producers, one of which, Aluminium de Grèce, S.A., a 60%-owned subsidiary of Péchiney, operates a mine, an alumina plant and an aluminum smelter at Distomon. In April 1987, Greece and the U.S.S.R. reached an agreement for the construction of a 600 000 t/y alumina refinery on the Gulf of Corinth near Delphi[2].

FIGURE 3

BAUXITE MINES AND ALUMINA REFINERIES IN AUSTRALIA, 1987



NSW = New South Wales; NT = Northern Territory; QLD = Queensland; SA = Southern Australia; TAS = Tasmania; VIC = Victoria; WA = Western Australia.

⚒ BAUXITE MINES: *1* GOVE, NT; *2* WEIPA, QLD; *3* DARLING RANGES, WA.

◆ ALUMINA REFINERIES: 1 GOVE, NT; 2 GLADSTONE, QLD; 3 KWINANA, WA; 4 PINJARRA, WA; 5 WAGERUP, WA; 6 WORSLEY, WA.

Guinea. The 30 000 t/d Sangarédi mine operated by the Compagnie des Bauxites de Guinée (CBG) in the Boké region of northwestern Guinea is one of the largest bauxite mines in the world. CBG also produces calcined abrasive-grade bauxite at a plant in the port of Kamsar, from which bauxite is shipped overseas. Alcan, through its participation in Halco (Mining) Inc., has an interest of about 14% in this operation.

Bauxite destined for shipment to the U.S.S.R. and other countries in eastern Europe is produced at the Débélé mine of the Offices de Bauxites de Kindia (OBK). It is also mined at Kimbo by Friguia, a company in which the Pechiney group has an 18.6% interest. Friguia operates an alumina plant at Kimbo.

Guyana. Guyana Mining Enterprise, Ltd. (Guymine), a state-owned enterprise, produces metallurgical-grade and non-metallurgical grade bauxites, as well as calcined refractory-grade and calcined abrasive-grade products, from mines and plants in the Linden and Berbice districts.

Refractory-grade bauxite from the East Montgomery mine is sent by rail to a drying and calcining plant at Linden on the Demerara River. Ore from the Kwakwani mines is barged down the Berbice River to a processing plant at Everton, at the river's mouth.

The dried and calcined products are shipped from Guyana in low-draft vessels to a storage and distribution point at the port of Chaguaramas in Trinidad, which is capable of handling ocean-going ships[3].

Ireland. Aughinish Alumina Limited, 65% owned by Alcan and 35% by Billiton International Metals B.V., has produced alumina from imported bauxite since 1982 at a plant on Aughinish Island in the Shannon estuary in the west of Ireland.

Jamaica. Jamaica, a country in which Alcan has long had and continues to hold major investments in bauxite mines and alumina production facilities, is currently being surpassed by Australia as Canada's foremost source of alumina.

The Government of Jamaica holds a degree of interest in all of the country's bauxite and alumina production facilities.

Plans to reopen the Alumina Partners of Jamaica's (Alpart's) 1.2 Mt/y alumina refinery at Nain, which was idled in August 1985, are still under discussion between the joint owners Kaiser and Reynolds and the Government of Jamaica[4].

Japan. No bauxite is mined in Japan. Several companies, in particular Nippon Light Metal Company, Ltd., in which Alcan has a 50% interest, produce alumina from imported bauxite.

In 1985, several cutbacks took place in the Japanese aluminum metal production industry and Nippon Light Metal announced the closure of its Tomakomai alumina plant, which then represented some 55% of its production capacity.

Sierra Leone. The Sierra Leone Ore & Metal Company Ltd., (SIEROMCO), a subsidiary of Alusuisse of Switzerland, mines and exports bauxite ore from the Port Loko deposit at Mokanji.

Suriname. There are two bauxite mining operations in Suriname: those of NV Billiton Maatschappij Suriname (BMS) at Onverdacht and Suriname Aluminum Company's (Suralco) activities centred at Paranam, which consist of mines, an alumina plant and an aluminum smelter. In November 1986, political unrest resulted in the closure of Suralco's Moengo mine. Two months later, power shortages caused the suspension of operations at the Paranam aluminum smelter. The Paranam alumina plant continued to operate using imported ore for feed[5].

Until the early 1980s Suriname was the world's third-largest producer of refractory-grade bauxite, after China and Guyana. Suralco's calcining kiln has been closed since 1982, and the Aalborg Portland Cement-Fabrik A/S's plant in Denmark, which calcined BMS's refractory-grade bauxite, ceased handling that material at about the same time[6].

United States. In the United States, which accounted for 7% of the world's bauxite output in 1960, only four companies mined bauxite in 1986. Practically the entire production of some 500 000 t of bauxite ore (less than one percent of world output) went toward nonmetallic uses such as abrasives, chemicals, refractories, and specialty aluminas. Alcoa mined bauxite at Bauxite, Arkansas. This was partly converted locally into alumina and partly calcined for use in abrasives. American Cyanamid Company mined bauxite at Bryant, Arkansas, for the manufacture of aluminum sulphate. Harbison-Walker Inc., a division of Dresser Industries, Inc., mined bauxite at Eufaula, Alabama, for calcining to refractory material. Mullite Co. of America mined ores in Henry County, Alabama, and in Sumter County, Georgia, for calcining to refractory grade bauxite[7].

The production of alumina followed a pattern similar to that of bauxite. Of the nine alumina plants that had operated in 1982, only four were still in operation at year-end 1985: Alcoa's establishments at Bauxite, Arkansas and Point Comfort, Texas; Kaiser's plant at Gramercy, Louisiana; and Reynolds's plant at Corpus Christi, Texas.

Martin Marietta Corporation's plant at St. Croix, in the U.S. Virgin Islands, which sent alumina to Canada in 1985, closed permanently in May of that year.

As shown in Table 6, the United States maintains stocks of metal grade and refractory grade bauxite.

Venezuela. In the early 1980s, a major bauxite deposit at Sierra, Los Pijiguaos in the State of Bolivar and a 1 Mt/y alumina plant at Ciudad Guyana on the Orinoco River were brought into production by the state-owned Corporacion Venezolano de Guayana (CVG) in conjunction with Alusuisse of Switzerland.

Table 6

United States Bauxite Stockpile Status as of September 30, 1986

Material		Goal	Total Inventory
		(000 dry tonnes)	
Bauxite	- metal grade:		
	Jamaica type	21 337	12 658
	Suriname type	6 198	5 385
Bauxite	- abrasive grade	1 016	-
Bauxite	- refractory grade, calcined	1 422	279

Source: L.H. Baumgardner, "Bauxite" in U.S. Bureau of Mines, "Mineral Commodity Summaries 1987", p. 18.

Current plans call for more than tripling Venezuela's aluminum metal output by 1994 (to 1 400 000 t/y), for doubling Interamericana de Alumina CA (Interalumina)'s alumina production capacity at Ciudad, Guyana, and for the possible construction of a new alumina plant at Los Pijiguanos[8].

West Germany. West Germany does not mine any bauxite. Imported bauxite is processed into alumina at two small plants at Lunen and Schwandorf belonging to the Vereinigte Aluminium-Werke AG (VAW); at the Stade plant of Aluminium Oxid Stade GmbH (jointly owned by VAW and Reynolds); and at the Bergheim works of Martinswerk GmbH für Chemische und Metallurgische Produktion, a subsidiary of Alusuisse. In September 1987, Alcoa announced that it would close an alumina plant that it owns at Ludwigshafen in 1988[9].

Review of Corporate Connections

Figures 4 and 5 provide an overview of the connections between operations in Canada and their corporate links with supplier countries.

Some of the corporate interests in foreign bauxite mines are of relevance to Canada's security of supply. In Brazil, Canada's most important source of bauxite, Alcan (Figure 4) has a 24% equity interest in Mineração Rio do Norte S.A., a company producing bauxite from a large deposit on the Trombetas River, and holds contracts for yearly purchases from this company through 1999. Shipments to Alcan's Jonquière alumina plant began in August 1979. Production capacity rose from 3.3 Mt/y in 1980 to 4.5 Mt/y in 1985, with Jonquière receiving some 1.2 Mt in that year.

FIGURE 4

ALCAN GROUP'S CORPORATE LINKS IN CANADA'S SUPPLY OF BAUXITE AND ALUMINA, 1987

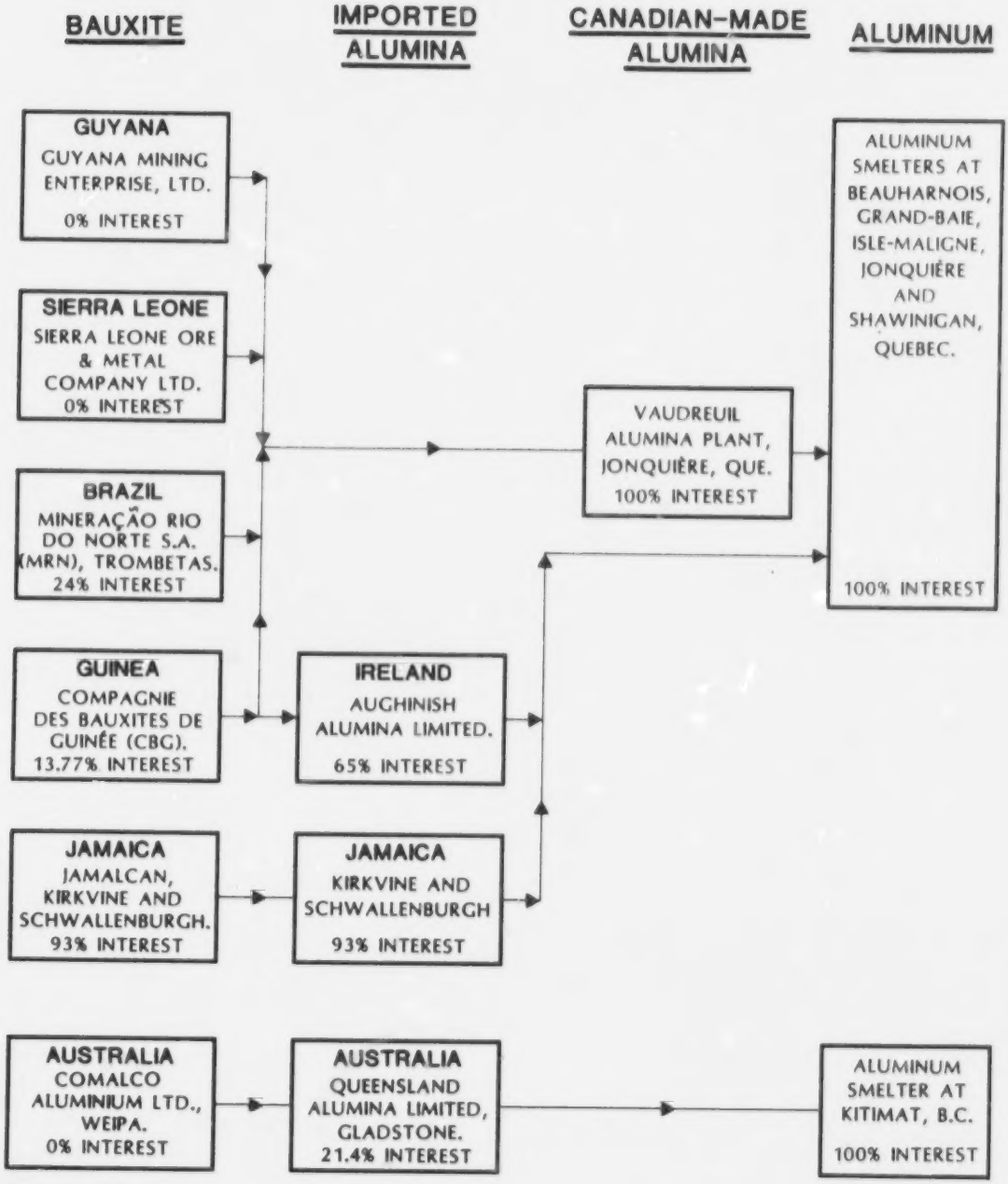
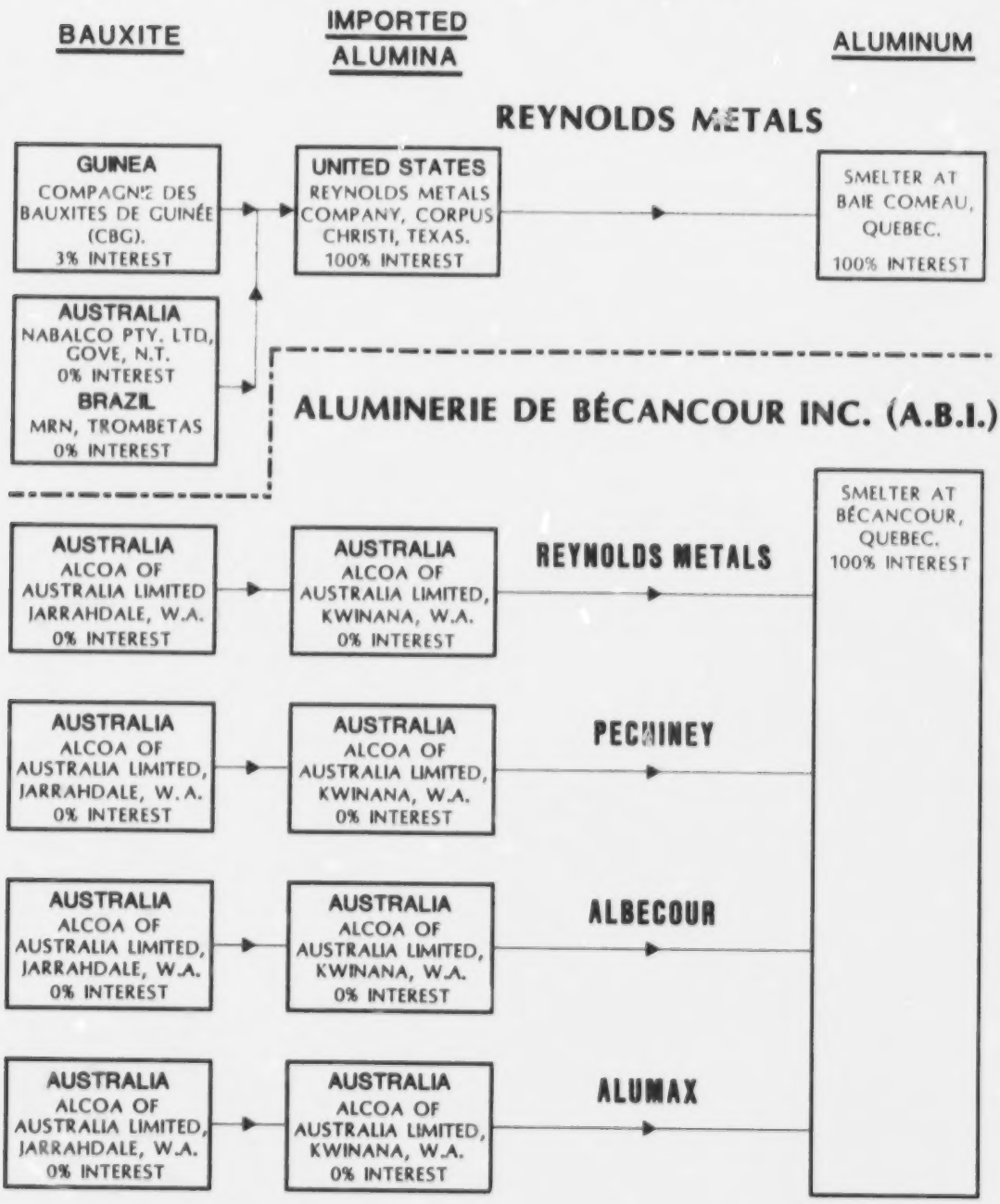


FIGURE 5

REYNOLDS' AND A.B.I.'S CORPORATE LINKS IN CANADA'S SUPPLY OF BAUXITE AND ALUMINA, 1987



Not all the Brazilian bauxite, however, is available for export as much of the production is being sent to a Brazilian-Japanese joint-venture alumina refinery (Alunorte), which provides feed for aluminum smelters in Brazil.

In Guinea, Alcan has equity interests in the Compagnie des Bauxites de Guinée (CBG), which is owned jointly by the Guinean government and several private companies. This company operates the large Sangarédi bauxite mine in the Boké deposit. Part of this mine's production is taken by Alcan, which started receiving shipments in 1973 and has contracts for purchases through 1995; Guinea is now Canada's second largest bauxite supplier. Guinean bauxite reserves represent over one quarter of total world reserves.

Guyana, which ranked first as a supplier of bauxite to Canada at the beginning of the 1970s, had dropped to second place behind Guinea by 1979 and, by 1986, had fallen to fourth place. Alcan formerly owned and operated bauxite deposits in Guyana, but these were nationalized in 1971 and are now operated by Guyana Mining Enterprise, Ltd. (Guymine). Bauxite reserves in Guyana represent only 3% of estimated world reserves; it cannot be expected that Guyana will increase in importance as a supplier of bauxite to Canada. Bauxite from Guyana, however, does have particular significance as a source of low-iron refractory-grade material, substantial amounts of which are used also by the abrasive and chemical industries.

Alcan's Jamaican subsidiary, Jamalcan, mines bauxite which is refined to alumina near mine site. Jamaica could potentially supply bauxite to the Canadian refinery, but Jamaican policy encourages local processing of bauxite to alumina.

The Reynolds group (Figure 5), which has an aluminum smelter in eastern Canada, is a part-owner of the Worsley Alumina Pty. Ltd.'s bauxite mine at Mount Saddleback in Australia. This bauxite is converted locally to alumina, which is sent by train to the Port of Bunbury, just south of Perth, for export. For corporate reasons, Reynold's Canadian imports of alumina are currently obtained from Alcoa of Australia Limited.

Alcan and Pechiney have shareholdings of 21.4% and 20%, respectively, in Queensland Alumina Limited (QAL) of Gladstone, Queensland, Australia and are entitled to process bauxite, mined elsewhere, at Gladstone in proportion to their shares of the company. A significant part (60% in 1983) of the bauxite from Comalco Aluminium Ltd.'s mine at Weipa on the west coast of Cape York, Queensland, is beneficiated and sent to QAL's alumina plant. Some of QAL's alumina is sent to the nearby aluminum smelter at Boyne Island and to the smelters at Kurri Kurri and Tomago in New South Wales and at Bell Bay in Tasmania; the rest is exported.

Canada's supply of alumina from abroad, and also the supply of bauxite for domestic Bayer alumina production, might, in future, be affected by constraints other than those found in normal commercial arrangements. Bauxite producing countries will undoubtedly encourage

further processing to alumina and aluminum in the country of origin, wherever this is feasible. Pressure of this type will be felt more for alumina production than for the more energy-intensive aluminum smelting. However, Canada's availability of hydroelectric energy at moderate cost, in areas remote from other markets for power, will continue to provide a strong economic incentive to the aluminum smelting industry.

The International Bauxite Association (IBA)

Currently, the International Bauxite Association (IBA), formed in 1974, has ten members: Australia, Ghana, Guinea, Guyana, India, Indonesia, Jamaica, Sierra Leone, Suriname and Yugoslavia, representing 70% of the total world bauxite production.

Several of these countries are critically dependent on bauxite and alumina for revenues. In 1986, for example, sales of these two raw materials accounted for 93% of Guinea's export earnings, 60% of Suriname's, 51% of Jamaica's and 40% of those of Guyana[10]. An initial impetus for the IBA was the wish of the member countries to increase the revenue from their natural resources. Perhaps the most ambitious move in this direction was Jamaica's introduction in 1974 of a charge on bauxite mined on the basis of aluminum content and a percentage (which has been about 7½%) of the average United States price for aluminum ingot. However, a lack of general agreement to go along with this levy, recession, a leveling off of demand for aluminum, competition for markets from established and new producers (such as Brazil), and the need for immediate revenue by many of the producing countries have lessened the potential ability of this producer group to control production.

An objective of the IBA is to promote the location of alumina refineries and aluminum smelters near bauxite resources, a policy that is not restricted to IBA members. However, the location of aluminum smelters is critically dependent on large amounts of electrical energy at relatively low cost, which is not available in many areas.

References

1. M. Prud'homme, "A Market Profile for Industrial Minerals in Canada's Manufacturing Sectors: The Refractories Industry", Energy, Mines and Resources Canada, Mineral Policy Sector Internal Report MRI 86/4, p. 4.

2. Staff, "Aluminum", Metals Week, Vol. 58, No. 15, p. 2.

3. S. Hinds, "Guyana Calcined Bauxite - A Profile of Recent Developments," Industrial Minerals, No. 199, April 1984, pp. 59-61.

4. Staff, "Jamaica Alumina Output Hikes Hit Snags; Richco Waits in Wings to Expand its Take", Metals Week, Vol. 58, No. 12, March 23, 1987, p. 1.

5. Staff, "Power Outage Forces Suralco Smelter Closure", Metals Week, Vol. 58, No. 5, February 2, 1987, p. 8.

6. P. Harben and T. Dickson, Non-Metallurgical Grades - Bauxite's Crème de la Crème, Industrial Minerals, No. 192, September 1983, p. 36.

7. L.H. Baumgardner and R.A. Hough, "Bauxite and Alumina", U.S. Bureau of Mines, "Minerals Yearbook, 1985, Volume 1, Metals and Minerals", p. 164.

8. Staff, "Venezuela's 2-million-mt Ambitions", Metals Week, Vol. 58, No. 42, p. 9.

9. Staff, "Aluminum", Metals Week, Vol. 58, No. 37, September 14, 1987, p. 8.

10. Staff, "Commodities Softly Echo the Sound of the Crash", The Economist, Vol. 305, No. 7522, p. 59.

PART III. POSSIBILITIES OF ALUMINA PRODUCTION FROM DOMESTIC SOURCE ROCKS

There are no known bauxite deposits in Canada that could be considered for commercial development. Given the geological history of Canada, the probability of finding any such deposits is low. Therefore, the most obvious alternative to importing bauxite and alumina for Canadian aluminum smelters would be to develop domestic non-bauxite sources of alumina. Most world-scale producers of aluminum have investigated such alternative sources.

Enough experience has been gained to permit the conclusion that several processes for the extraction of alumina from non-bauxite sources are technically feasible and could, in specific circumstances, be developed into industrial-scale operations. They could not currently compete with those based on bauxite. Such operations have been developed in the Soviet Union, under circumstances where domestic supplies of alumina were favoured over imported bauxite or alumina, and where co-products helped toward making these operations more economic. In the western world, experimentation with non-bauxite sources has generally not gone beyond pilot and demonstration plants.

There are several potential Canadian sources for non-bauxite alumina: anorthosite, coal-associated materials, clays, and nepheline syenite.

Of these, anorthosite is the most abundant; large deposits of this rock type occur in Quebec and Labrador. Significant quantities of alumina-rich clays and shales are associated with coal seams, notably in British Columbia, and are separated as coal mining waste; this is probably the most attractive among the array of possibilities, partly because the coal content can contribute to the energy required for processing. Coals burned in electrical generating stations in Alberta and Ontario produce large amounts of fly ash rich in alumina. The best clay for potential alumina production is in southern Saskatchewan. Nepheline syenite, the rock type first used as a source of alumina by the U.S.S.R., is the least attractive among the possibilities in Canada.

Appendix 3 contains details on Canadian non-bauxite sources of alumina and the processing methods that have been tried on them, along with extensive references.

Processes for treating non-bauxite sources of alumina require considerably more energy than does the Bayer process used in making alumina from bauxite. Whether the use of domestic sources of alumina would make economic sense depends on the cost of producing alumina from bauxite by the Bayer process and on the price of bauxite delivered to Canada. It is most unlikely that processing costs for recovering alumina from raw materials other than bauxite could ever be less than those of the Bayer process. The price of bauxite or constraints on its availability are therefore the critical factors governing the feasibility of producing alumina from other raw materials. At present, bauxite remains the best raw material, from both

technical and economic considerations, for the production of alumina, whether for electrolytic reduction to aluminum metal or for the manufacture of abrasives, refractories or chemicals.

Before any production of alumina from domestic resources could take place, up to ten years would be needed for detailed delineation of raw materials sources, further process development, pilot plant operations, financing, government approvals, mine development, and subsequent plant design, construction and commissioning. Accordingly, any decision to obtain a significant fraction of Canada's alumina requirements from domestic sources would have to be made many years in advance. It would seem prudent to monitor periodically conditions that, in a span of about a decade, might contribute to a rise in the price of bauxite beyond the level where other sources for alumina would offer an economically attractive alternative.

PART IV. SUMMARY AND CONCLUSIONS

Aluminum metal is made from alumina (aluminum oxide), for which bauxite ore is the commonly used source. Roughly, 4 t of bauxite yields 2 t of alumina, which in turn yields 1 t of aluminum metal. The Canadian aluminum industry produced some 1.4 Mt of aluminum metal in 1986, worth about $2 200 million, and exported about 85% of that, mainly to the United States.

Three companies produce aluminum metal in Canada: Alcan Smelters and Chemicals Limited, Canadian Reynolds Metals Company, Limited, and Aluminerie de Bécancour Inc. (A.B.I.). The industry depends entirely on imported bauxite and alumina, because Canada lacks indigenous sources of bauxite, and alternative domestic sources of alumina could not compete with bauxite.

Canadian imports currently amount to some 2 Mt of bauxite ore and 1.7 Mt of alumina per year. At Jonquière, Quebec, Alcan converts the 2 Mt of imported bauxite ore into about 1 Mt of alumina, which meets half of that company's total alumina requirements. In round numbers, of the 1.7 Mt of alumina imported in 1986, 0.5 Mt went to Alcan's Quebec smelters, 0.5 Mt to Alcan's Kitimat, B.C., smelter, 0.5 Mt to Reynolds and 0.2 Mt to A.B.I.

For **bauxite ore,** the Canadian aluminum industry's most important source is Brazil, which delivered close to 60% of Canada's imports in 1986. A further 14% came from Guinea. Alcan, Canada's foremost producer of aluminum, has investments in mines in both of these countries. The remaining bauxite requirements came from Sierra Leone, Guyana, and, in smaller quantities, from Greece, Suriname and China.

For **alumina** imports, Jamaica is Canada's largest supplier (close to 40%), but Australia is about to overtake it as our prime source. Most of the remainder has come from Japan, the United States and West Germany, primarily made from bauxite that these countries had imported. Alcan has major investments in mines and alumina production facilities in Jamaica, operated in partnership with the government of Jamaica. Alcan, Reynolds and A.B.I. each have some direct or indirect stakes in Australian bauxite/alumina operations.

As to security of supply, there is little likelihood that the Canadian aluminum industry's needs for these materials would be seriously imperiled if supplies from any producing country were to be interrupted, given the numerous bauxite producers and the even more numerous alumina producers in the world. If the need arose, bauxite and alumina could be sought from other countries, as well as from other companies in our current major supplier countries such as Australia, Brazil and Guinea. However, since almost all of Canada's imports of both bauxite and alumina come in by sea, interruptions to the free passage of vessels on the high seas or in Canadian coastal waters might have severe consequences for the Canadian aluminum industry if they outlasted the industry's working stocks of about two months.

In the 1970s, consumers feared the possible establishment of a cartel of international bauxite producers. However, subsequent developments, in particular the expansion of bauxite operations in Australia, Guinea and Brazil, have greatly lessened the likelihood that such an arrangement might be workable.

Although Canada lacks bauxite resources, several other aluminum-bearing raw materials, namely anorthosite, nepheline syenite, clays and coal wastes, are present in Canada. The necessary technology is available for the recovery of alumina from these alternative source materials, but such recovery could be achieved only at relatively high cost. Even if costs could be reduced to the competitive range, the need for additional testing as well as mine and plant construction would make it unlikely that such sources of alumina could be brought into production in less than 10 years.

Whereas, in Canada, by far the greatest use for bauxite and alumina is in the production of aluminum metal, some specially treated bauxite is used to make fused alumina for abrasives, and some bauxite and alumina are used for making refractory products. The Canadian fused-alumina industry, centred in the Niagara Falls area of Ontario, supplies about $70 million worth of crude alumina grain, three quarters of the North American abrasive industry's requirements of this material, made from 200 000 t of special-grade bauxite concentrates imported into Ontario annually. Abrasive-grade bauxite is readily available from producers in China, Guinea, Australia, and the southern United States. Canadian manufacturers of refractory products require only about 10 000 t/y of bauxite and 10 000 t/y of alumina.

In conclusion, continuity of adequate supplies of bauxite and alumina to Canada is not an issue for current strategic concern, as long as Canada can be assured of the maintenance of free passage for ships headed to Canadian ports, both on the high seas and in coastal waters.

APPENDIX 1

SOME RECENT PRICES OF BAUXITE AND ALUMINA

Bauxite, abrasive grade, min. 86% Al_2O_3, c.i.f.	C$ 124-143 per tonne
Bauxite, refractory grade, min. 86% Al_2O_3, c.i.f.	243-247
Chinese Grade I typical 85% Al_2O_3, c.i.f.	182-186
Grade II typical 80% Al_2O_3, c.i.f.	165-169
Guyana bauxite, refractory grade, f.o.b. rail car - Baltimore or barge Gulf Coast, United States	216
Alumina, activated granules, 100-lb. bags, 40 000-lb. minimum car lots, works	1175
Alumina, calcined, 98½-99½% Al_2O_3 bags included 20-ton lots, delivered United Kingdom	455-474
Alumina, calcined, medium-soda content, 50-ton lots	520-650
Alumina, hydrated white, bulk, 40 000 lb. minimum car lots, works	272
Alumina, hydrated white, 100-lb. bags, 40 000 lb. minimum car lots, works	321

Sources: Chemical Marketing Reporter, Vol 232, No. 16, October 16, 1987, p. 52 and Industrial Minerals, No. 240, September, 1987, p. 110; exchange rates: The Globe and Mail, September 17, 1987, p. B-20, October 17, 1987, p. B-12.
c.i.f. Cost, insurance and freight; f.o.b. Free on board.

APPENDIX 2

WORLD RESERVES AND PRODUCTION

World Reserves

World reserves of bauxite, as of January 1983, are shown in Table A-1. These numbers presumably represent exploitable material that is reasonably well known. According to this table, Guinea, Australia, Brazil and Jamaica together hold close to 70% of the world's currently established reserves.

Table A-1

World Reserves

	Million Tonnes	% of Reported Total
Guinea	5 600	27.0
Australia	4 440	21.0
Brazil	2 250	11.0
Jamaica	2 000	10.0
India	1 000	5.0
Cameroon	800	4.0
Indonesia	750	4.0
Guyana	700	3.0
Greece	600	3.0
Suriname	575	3.0
Ghana	450	2.0
Yugoslavia	350	2.0
Hungary	300	1.0
U.S.S.R.	300	1.0
Venezuela	235	1.0
China	150	1.0
Sierra Leone	140	1.0
Total	21 000[1]	100.0

Source: L.H. Baumgardner and F.X. McCawley, "Aluminum", in U.S. Bureau of Mines, "Mineral Commodity Profiles, 1983", p. 6.

[1] Data do not add to total shown because of independent rounding.

World Production of Bauxite

General

Even though bauxite has been and continues to be mined in a large number of countries, five accounted for 72% of the world's output of bauxite in 1986: Australia, 35%; Guinea, 14%; Jamaica, 8%; the U.S.S.R., 8%; and Yugoslavia, 6%.

Statistics on bauxite production are presented in Table A-2 for selected years between 1960 and 1986. Major shifts occurred during that period in the relative standings of bauxite-producing countries: as a percentage of world output of bauxite, Australia's share rose from almost nothing to 35%, Guinea's from 5 to 14% and Brazil's from virtually nil to 8%.

Table A-2

World Mine Production of Bauxite, by Country, Selected Years from 1960 to 1986

	1960	1970	1975	1985	1986[e]
	(000 dry tonnes)				
Australia	70	9 257	27 179	32 400	28 000
Guinea	1 378	2 490	11 862	13 100	11 000
Brazil	121	500	5 583	6 650	6 500
Jamaica	5 837	12 010	12 054	6 239	6 500
U.S.S.R.	3 556	4 268	4 600	4 600	4 600
Yugoslavia	1 025	2 099	3 138	3 250	3 200
Suriname	3 455	6 022	4 646	3 000	2 800
Hungary	1 190	2 022	2 950	2 815	2 800
Greece	884	2 292	3 286	2 500	2 600
India	387	1 360	1 785	2 038	2 100
Guyana	2 511	4 417	1 844	1 675	2 000
United States	2 030	2 116	1 559	674	500
Other Market Economy Countries	4 752	8 133	6 569	3 942	4 100
Other Centrally Planned Economies	444	602	2 210	2 250	2 300
Total	27 643	57 789	89 220	85 133	79 000

Sources: U.S. Bureau of Mines, "Minerals Yearbook, Volume I: 1964", p. 257; 1972, p. 197; 1984, p. 150; and L.H. Baumgardner, "Bauxite", in U.S. Bureau of Mines, "Mineral Commodity Summaries 1987", p. 19.
[e] Estimate.

Long-term producers whose shares of world bauxite production declined were Jamaica, 21 to 8%; Suriname, 13 to 4%; U.S.S.R., 13 to 6%; Guyana, 9 to 3%; and minor market economy countries, as a group, from 17 to 5%.

Table A-3 indicates the locations of the main bauxite mines in the western world. These mines accounted for some 89% of total 1985 western world bauxite production capability.

Table A-3 also presents information on the ownership of bauxite mines in the western world. It is estimated that, in 1985, six companies controlled 52% of the production capacity for metallurgical-grade bauxite: Alcoa, 25%; Alcan, 10%; Alusuisse, 8%; Reynolds and Pechiney, 3% each; and Kaiser, 2%. State enterprises controlled some 25% of western world production capacity[1].

Table A-3

Principal Western World Producers of Bauxite

Country	Company	Production Capacity (1985) (000 t/y)
Australia	Alcoa of Australia Limited, (Aluminum Company of America, 51%; Western Mining Corporation Holdings Limited, 30.5%), Darling Range (Jarrahdale, Del Park, Willowdale, and Huntly), WA.	16 000
	Comalco Aluminium Ltd., subsidiary of Comalco Limited, (CRA Limited [The RTZ Corporation PLC group, 67%) Weipa, Cape York, QLD.	11 300
	Nabalco Pty. Ltd., (Swiss Aluminium Australia Ltd. [Alusuisse group], 50%) Gove, NT.	6 000
	Worsley Alumina Pty Ltd., (Reynolds Australia Alumina Ltd., 40%; Shell Co. of Australia Ltd., 30%), Mount Saddleback, Boddington, WA.	3 500

Table A-3 (cont'd)

Country	Company	Production Capacity (1985) (000 t/y)
Brazil	Alcan Aluminio Poços de Caldas S.A. (Alcan Aluminio do Brasil S.A., 100%) Poços de Caldas, Minas Gerais.	400
	Alcoa Alumínio S.A., (Alcoa, 62.4%), Poços de Caldas, Minas Gerais.	700
	Cia. Brasileira de Aluminio (CBA), Poços de Caldas, Minas Gerais.	700
	Mineração Rio do Norte, S.A. (MRN) (Companhia Vale do Rio Doce, 46%; Alcan Alumínio da América Latina Ltda. 19.36%; Alcan Aluminium Limited 4.64%) Trombetas, Amazon region.	4 500
France	Aluminium Pechiney S.A., Brignoles, Var.	730
Ghana	Ghana Bauxite Co. Ltd. (Government of Ghana, 50%; Alcan, 45%), Awaso.	500
Greece	Bauxites Parnasse Mining Co., Parnassus-Ghiona.	1 200
Guinea	Compagnie des Bauxites de Guinée (CBG), (Government of Guinea 49%; Halco (Mining) Inc. [Alcan, 27%; Alcoa, 27%; Reynolds, 6%], 51%) Sangarédi Plateau, near Boké.	9 000
	Friguia (Government of Guinea, 49%; Frialco [Noranda Inc., 38.5%; Pechiney 36.5%],51%), Friguia-Kimbo.	2 200
	Offices de Bauxites de Kindia (OBK), (Government-owned), Kindia.	2 500

Table A-3 (cont'd)

Country	Company	Production Capacity (1985) (000 t/y)
Guyana	Guyana Mining Enterprise, Ltd. (Guymine), (Government-owned); Linden and Berbice districts.	4 200
India	Hindustan Aluminium Corp. Ltd. (HINDALCO), (Kaiser, 27%), Richughuta Plateau, Bihar.	500
Indonesia	P.T. Aneka Tambang, (Government-owned), Bintan Island.	1 600
Jamaica	Jamalcan (joint venture association) (Government of Jamaica, 7%, Alcan, 93%) Kirkvine, Manchester Parish, and Schwallenburgh, St. Ann Parish.	2 800
	Alcoa Minerals of Jamaica Inc. (Jamalco) (Government of Jamaica, 6%, Alcoa 94%), Mocho Mountain, Clarendon Parish.	1 500
	Kaiser Jamaica Bauxite Company (Government of Jamaica, 51%; Kaiser Bauxite Company, 49%), Discovery Bay, St. Ann Parish.	3 000
Sierra Leone	Sierra Leone Ore & Metal Company Ltd. (SIEROMCO), (Alusuisse, 100%), Mokanji.	1 000
Suriname	NV Billiton Maatschappij Suriname (BMS), (Billiton, 76%; Alcoa, 24%), Onverdacht, Paranam.	2 500
	Suriname Aluminum Company (Suralco) (Alcoa, 100%), Moengo.	2 000

Table A-3 (cont'd)

Country	Company	Production Capacity (1985) (000 t/y)
United States	Aluminum Company of America Bauxite, Arkansas.	900
Turkey	Etibank General Management (Government-owned) Mortas and Dugankuzu.	500
Yugoslavia	Energoinvest, Vlasenica, Bosnia-Hercegovina.	1 500
Partial Western World Total		81 230

Sources: London Metals Research Unit, Shearson Lehman Brothers Limited, "Annual Review of the World Aluminium Industry 1987", p. 53; and Australian Mineral Economics Pty. Ltd., "World Aluminium Capacity Handbook 1984-1995", pp. 88-117.

Refractory and Abrasive Grades

Almost all of the world's production of bauxite is destined for the production of aluminum metal. However, some 5 to 6% of world output, especially premium-grade varieties with high alumina contents, is used to make refractories, abrasives, chemicals and cement.

Guyana and China are the principal sources of refractory grade bauxites; most bauxites contain too much iron for these applications. Guyana, in particular, is making an effort to market calcined refractory-grade bauxites, which command premium prices. Guyana has supplied about 80% of world production of such high-grade bauxite.

China has been a growing exporter of refractory-grade bauxite and calcined refractory-grade bauxite and has begun shipping to the United States, Europe and Japan. The United States, Brazil and India produce some refractory-grade bauxite, principally for domestic consumption.

The less stringent requirements for abrasive-grade calcined bauxite are met by bauxite from Weipa, Australia, from Suralco in Suriname, from the CBG in Guinea, and from China. Guyana is also producing a calcined abrasive-grade bauxite.

World Production of Alumina

Production by country for selected years is given in Table A-4.

Table A-4

World Production of Alumina, by Country, Selected Years, from 1960 to 1985

	1960[1]	1970	1980	1985
	(000 tonnes)			
Australia	259	2 152	7 246	8 792
U.S.S.R.	2 756	1 814	2 700	4 250
United States	4 953	6 485	6 810	3 465
West Germany	577	758	1 608	1 677
Jamaica	789	1 716	2 456	1 622
Japan	651	1 285	1 936	1 336
Suriname	-	1 014	1 329	1 242
Yugoslavia	107	125	1 058	1 138
Venezuela	-	-	-	1 120
Brazil	60	119	517	1 096
Canada	1 152	1 105	1 202	1 019
France	761	1 130	1 175	877
Hungary	251	441	805	825
China	62	254	750	800
Spain	-	-	58	725
Guinea	481	610	708	572
India	124	327	500	571
Ireland	-	-	-	557
Italy	249	314	900	555
Romania	50	210	534	530
Greece	-	312	494	402
Turkey	-	-	138	113
United Kingdom	107	107	102	108
Czechoslovakia	-	73	100	75
East Germany	91	54	43	43
Guyana	300	317	214	0
Taiwan	42	42	-	0
Total	13 847	20 765	33 382	33 518

Sources: U.S. Bureau of Mines, "Minerals Yearbook, Volume I: 1964", p. 259-261; 1972, p. 198; 1984, p. 151; and IBA Review, Vol. 12, No. 3, January-March 1987, p. 26.

[1] Production capacity.

- Nil.

World production of alumina is more widespread than that of bauxite. In 1986, the top five alumina-producing countries accounted for only 59% of world output (as against 72% in the case of bauxite): Australia, 26%; U.S.S.R., 13%; United States, 10%; West Germany and Jamaica, 5% each[2]. Ten other countries each produced more than 2% of world output.

As in the case of bauxite, considerable changes took place in the world production of alumina between 1960 and 1985. Especially noteworthy are the declines in the proportions of world output in North America and the U.S.S.R.: United States 36 to 10%, Canada 8 to 3%, and the U.S.S.R. 20 to 13%.

The growth in Australian alumina output has mirrored its increase in bauxite output. Australia now accounts for 26% of world output of alumina versus 2% in 1960. Three bauxite-producing countries in South America, Brazil, Suriname and Venezuela, which had virtually no alumina production facilities in 1960, now together produce about 10% of world output.

Table A-5 lists the main alumina plants in the western world. These accounted for about 85% of the total 1985 western world production capacity.

Table A-5 also indicates principal ownership of these plants. It is estimated that in 1985, six companies controlled 67% of western world production capacity: Alcoa, 27%; Alcan, 15%; Reynolds, 7%; Kaiser, 7%; and Alusuisse and Pechiney, 5% each. State enterprises controlled a total of 26% of western world alumina production capability[2].

References

1. R.A. Kalpoe, "Ownership and Control in the World Bauxite Industry", 1980-1990, IBA Review, Vol. 12, No. 1, July-September 1986, p. 19.

2. R.A. Kalpoe, "Ownership and Control in the World Alumina Industry", 1980-1990, IBA Review, Vol. 12, No. 3, January-March 1987, p. 19.

Table A-5

Principal Western World Producers of Alumina

Country	Company and Location	Capacity (000 t/y)
Australia	Alcoa of Australia Ltd. (Aluminum Company of America, 51%; Western Mining Corporation Holdings Limited, 30.5%), Pinjarra, Kwinana and Wagerup, WA.	4 400
	Nabalco Pty. Ltd. (Swiss Aluminium Australia Ltd. [Alusuisse group], 50%), Gove, NT.	1 200
	Queensland Alumina Limited (Comalco Limited, 30.3%; Kaiser Aluminum & Chemical Corporation, 28.3%; Alcan Aluminium Limited, 21.4%; Aluminium Pechiney S.A., 20%)	2 740
	Worsley Alumina Pty Ltd. (Reynolds Australia Alumina Ltd., 40%; Shell Co. of Australia Ltd., 30% Kobe Alumina Associates (Australia) Pty. Ltd., 30%), Worsley, WA.	1 000
Brazil	Alcan Aluminio do Brasil S.A., Saramenha, Minas Gerais.	149
	Alcoa Alumínio S.A., (Alcoa 65%), Poços de Caldas Minas Gerais.	180
	Cia. Brasileira de Aluminio (CBA), Sorocaba, Sao Paulo.	250
	Aluminio de Maranhao S.A. (Alumar), (Alcoa Aluminio S.A., 60%; Billiton Metais SA, 40%), Sao Luis, Maranhao.	500
Canada	Alcan Smelters and Chemicals Limited, Vaudreuil plant, Jonquière, Quebec.	1 200
France	Aluminium Pechiney S.A., Gardanne and La Barasse, Var.	1 060
Greece	Aluminium de Grèce, S.A., (Government of Greece, 40%; Pechiney, 60%), Distomon.	600

Table A-5 (cont'd)

Country	Company and Location	Capacity (000 t/y)
Guinea	Friguia (Government of Guinea, 49%; Frialco [Noranda Inc., 38.5%; Péchiney 36.5%], 51%), Kimbo.	700
India	Bharat Aluminium Company Limited (BALCO), Korba, Madhya Pradesh.	200
	Hindustan Aluminium Corp. Ltd. (HINDALCO) (Kaiser, 27%) Renukoot, Uttar Pradesh.	270
Ireland	Aughinish Alumina Limited (Alcan, 65%; Billiton, 35%), Aughinish Island.	800
Italy	Eurallumina S.p.A., Porto Vesme, Sardinia.	720
Jamaica	Jamalcan (joint venture association) (Government of Jamaica, 7%; Alcan, 93%), Ewarton and Kirkvine plants.	1 180
	Clarendon Alumina Production Ltd., (Government of Jamaica, 6%; Alcoa, 94%), government-operated, Clarendon.	800
Japan	Nippon Light Metal Company, Ltd. (NLM), (Alcan, 50%), Shimizu.	300
	Showa Aluminium Industries K.K., Yokohama.	300
Spain	Alumina Espanola S.A., San Ciprian, Lugo.	800
Suriname	Paranam Refinery Joint Venture (Suralco, 55%, NV Billiton 45%), Paranam.	1 400
Turkey	Etibank General Management, (Government-owned), Seydisehir.	200
United Kingdom	British Alcan Aluminium plc, Burntisland.	125

Table A-5 (cont'd)

Country	Company and Location	Capacity (000 t/y)
United States	Aluminum Company of America (Alcoa):	
	Bauxite, Arkansas	350
	Point Comfort, Texas.	1 300
	Kaiser Aluminum & Chemical Corporation, Gramercy, Louisiana.	750
	Reynolds Metals Company, Sherwin plant, Corpus Christi, Texas.	1 700
Venezuela	Interamericana de Alumina CA (Interalumina), Corporacion Venezolano de Guayana (CVG), 85%; Swiss Aluminium Ltd. (Alusuisse), 15%; Ciudad Guyana.	1 000
West Germany	Alcoa Deutschland Gmbh, Ludwigshafen.	160
	Aluminium Oxid Stade GmbH, (Reynolds, 50%, Vereinigte Aluminium-Werke AG, 50%), Stade.	600
	Martinswerk GmbH für Chemische und Metallurgische Produktion, (Alusuisse, 99%), Bergheim Erft.	350
Yugoslavia	Energoinvest (Government-owned) Bachevica (Mostar) plants, Bosnia-Hercegovina, and Birac plant, Zvornik Bosnia-Hercegovina.	860
	Kombinat Aluminijuma Titograd (KAT), (Government-owned), Titograd, Montenegro.	200
	Kombinat Aluminijuma Jadral, (Government-owned), Jadral Obrovac, Dalmatia.	300
Partial Western World Total		28 644

Sources: London Metals Research Unit, Shearson Lehman Brothers Limited, "Annual Review of the World Aluminium Industry 1987", p. 57; and Australian Mineral Economics Pty. Ltd., "World Aluminium Capacity Handbook 1984-1995", pp. 56-79.

APPENDIX 3

ALUMINA FROM NON-BAUXITE SOURCES

Background

Processes proposed for treating non-bauxite sources[1,2,3] for alumina recovery generally are of two types: i) acid processes in which the alumina source is dissolved in a mineral acid and ii) sinter processes in which the alumina source is heated with limestone and perhaps soda ash to render the alumina soluble. These processes are discussed in some detail further on in this Appendix.

A method to extract alumina from nepheline syenite was developed in the Soviet Union during the 1930s. It was first used on an industrial scale to recover alumina from phosphate mining operations in the Kola Peninsula in the early 1950s[4]. By-products of the process, cement, soda ash and potash, helped toward profitability. The annual capacity of this operation, at two plants near Murmansk and near Leningrad, is estimated to be 350 000 t. About 500 000 t/y of alumina is produced from a third plant at Achinsk in Siberia, but this plant apparently has had difficulty in operating economically. Alunite has been used as a raw material for the production of alumina at Kirovabad in the Azerbaijan Republic of the U.S.S.R. The process used yields potassium sulphate and sulphuric acid as by-products. In 1975[4], the plant was apparently operating normally at an annual capacity of about 200 000 t, after many years of problems. The Soviet processes were developed under circumstances where there was considerable concern in the Soviet Union about reliability of its supplies of imported bauxite or alumina, and where co-products rendered the processes more economic.

In addition to these industrial-scale installations in the Soviet Union, several pilot and demonstration plants have been operated, particularly in Europe and the United States. The United States government, in conjunction with various companies, has operated several such plants. During and after World War II sinter processes on clays and anorthosite were conducted on a pilot scale, and a hydrochloric acid extraction process for the recovery of alumina from clay has been operated on a mini-plant scale. Alcan and Aluminium Pechiney S.A. examined the so-called "H-plus process" for sulphuric acid extraction of alumina from clays and shales on a substantial pilot-plant scale.

A 24 t/d pilot plant for the extraction of alumina from alunite was operated in Colorado by Alusuisse Metals, Inc. (Alumet), but the company did not proceed with construction of a commercial-scale plant.

Types of Deposits

a) Anorthosite

The most abundant of the several potential Canadian sources for non-bauxite alumina is anorthosite, which occurs in large deposits in Quebec and Labrador. Anorthosite is a rock that consists principally of

plagioclase feldspar, with smaller amounts of accessory minerals. The alumina content of anorthosite can vary considerably; analyses of Canadian anorthosites have shown contents ranging from about 23 to 34% Al_2O_3.

The large Lac St. Jean anorthosite complex in Quebec (about 20 000 km^2) has yielded many samples in the range of 27 to 30% Al_2O_3. The accessibility and size of this complex would make it one of the first deposits to be considered for development of an alumina industry based on anorthosite. The western edge of this complex is in the Jonquière - Isle Maligne area, the location of much of Alcan's smelting capacity. Although much of the area of the complex is underlain by various rocks with lower alumina content, analyses indicate that substantial portions contain at least 27% Al_2O_3.

Outcrop samples of a relatively small anorthosite body (La Bostonnais, 70 km^2) south of the Lac St. Jean complex and about 35 km north-east of La Tuque were found to be high in alumina content and low in iron content[5]. A low iron content is important, as iron oxide, if present in sufficient quantity, will tend to decrease alumina recovery in sinter processes.

The Lac Doré anorthosite at Chibougamau, Quebec, shows a considerable spread in reported alumina analyses[5,6], but a systematic evaluation of the area might reveal alumina-rich regions.

The Morin anorthosite north-west of Montreal has been the subject of considerable study. Analyses show a fairly high alumina content (with a mean of about 27%) in samples identified as anorthosite, which were estimated to represent about one quarter of the material in the 2 000 km^2 complex[7].

A small anorthosite deposit near Lac Opawica, Quebec, has shown a high alumina content in limited sampling. Many other anorthosite complexes occur in Quebec; a few analyses are available for some of these but many of the deposits are small or remote. The belt of anorthosite deposits in Quebec extends into Labrador.

In Ontario there are several small anorthosite intrusions. One sample from the largest of these, the Shawmere anorthosite (800 km^2) in northern Ontario north-east of Chapleau, contained about 34% Al_2O_3. The anorthosite from this deposit is distinctive in being quite soluble in hydrochloric acid[8]. Other known deposits in Ontario are much smaller, although high alumina contents have been indicated for the Whitestone (29% Al_2O_3) and Parry Island (33% Al_2O_3) anorthosites near Parry Sound. Samples from the River Valley and Red Deer anorthosites near Sudbury are also acid soluble.

Anorthosites occur elsewhere in Canada as well, but generally the deposits are small or in remote locations.

None of the deposits referred to has been systematically drilled, so it is not possible to make reliable quantitative estimates of tonnages. Samples described in the literature, often taken from outcrops, have usually been gathered with the objective of studying the geology of the formation or complex rather than for estimating the potential for alumina extraction. Areas mapped as anorthosite complexes also contain rocks with lower alumina content, such as anorthositic gabbros and ferrogabbros[7]. In the course of investigations by the Canada Centre for Mineral and Energy Technology (federal Department of Energy, Mines and Resources) on non-bauxite alumina sources, several anorthosite deposits were sampled to evaluate their alumina content[5].

The area of an anorthosite complex may be estimated from geological maps. A 1 km^2 area quarried to a depth of about 15 m would yield about 40 Mt of rock. If it could be assumed that the rock contained 27% Al_2O_3, this would provide feed for a 1 Mt/y alumina plant for about 10 years.

b) Coal-associated materials

Significant quantities of alumina-bearing clays and shales are associated with coal seams. If these clays and shales can be segregated from the coal during mining, they form a portion of the coal mining wastes. In many cases, clays are removed from coal by washing in a coal preparation plant. Where high-alumina clays such as kaolinite are present, the rejects from coal washing plants may constitute a potential source of alumina. Waste material containing coal is a particularly attractive potential source for alumina production, as the heat of combustion of the coal would provide part of the energy required for processing.

Coal burned in thermal electrical generating stations produces large quantities of fly ash in the form of small spheres, usually less than 0.15 mm in diameter. Fly ashes high enough in alumina content could be considered as potential sources of alumina; however, they would have to be treated by a sinter process because they are insoluble in mineral acids.

The Hat Creek sub-bituminous coal deposit, located about 200 km northeast of Vancouver, B.C., constitutes a potential source for alumina in Canada. The coal resources in this deposit are large, estimated at 625 Mt in the No. 1 (north) deposit and 1 000 Mt in the No. 2 (south) deposit[9]. The coal has a high inorganic content, with about 28% ash; the alumina content of the ash from the coal and coal wastes is about 29 to 32%. The coal layers are interbedded with clayey layers, which consist largely of kaolinite[10], at least in the central parts of the No. 1 deposit. In the western parts of this deposit the interbedded bentonitic material has lower alumina content. Also interlayered with the clays are significant amounts of siderite whose presence leads to the formation of iron oxide in the ash, varying from about 4 to 10% Fe_2O_3. Material overlying the coal is low in alumina content.

It has been estimated that if a thermal electric generating station were ever built at Hat Creek, some 35 to 50 Mt of aluminous coaly waste material might be produced from the mining of about 330 Mt of coal over a 35-year period. Such a development would probably support a 200 000 t/y alumina plant.

Several mines located in southwestern Alberta and southeastern British Columbia produce bituminous metallurgical coal, principally for export. These coals, which have a high alumina content in the ash (averaging about 30% Al_2O_3[11,12]) are washed before shipment. Ash analyses of samples of washery rejects indicate a range of generally 25 to 29% Al_2O_3[13]. These rejects could also be of interest as a possible source of alumina.

Fly ash is currently generated in large quantities from power stations in two regions of Canada. In Alberta, two stations west of Edmonton, the Wabamun and Sundance stations, produce about 1 Mt/y of fly ash with about 23% Al_2O_3. In Ontario about 1.5 Mt/y come from thermal generating stations, but most of the coal burned in Ontario is imported from the eastern United States, where the ash contents of the coals are relatively low in alumina. Thermal generating stations in New Brunswick and Nova Scotia produce relatively small quantities of fly ash with high iron oxide content.

c) Clays

In the United States, kaolinitic clay represents one of the most promising non-bauxite sources of alumina, but Canada is much less well endowed with good deposits of high-alumina clays. Heated to about 850 to 900°C, kaolinite clays are amenable to acid extraction[14]. They may also be treated by sinter processes.

From the point of view of potential alumina production, the best clay deposits in Canada are those in the Whitemud Formation in southern Saskatchewan. Their characteristics are known from the examination of outcrops and some drilling, and from samples taken from a few places where clays have been quarried for material for the ceramic industries. Three particular locations have prospects for substantial resources, although no more than 1 Mt has been delineated in any one location[15]. Estimates of resources have been made on the basis of topography, with the assumption that the beds are continuous and flat-lying.

Southeast of the village of Flintoft there are about 30 Mt of clay, typically grading 26% Al_2O_3. Some 200 Mt of clays near Willows average 24% Al_2O_3. Perhaps 40 Mt north of Willow Bunch average 30.5% Al_2O_3. Further drilling would be required to confirm these estimates. The lower portion of the Whitemud Formation consists of kaolinitic sands, which if beneficiated could represent additional resources. These areas are accessible by rail and road; lignitic coal for processing would be available within about 30 to 35 km. Ekaton Industries Inc. of Calgary is investigating the possibility of producing kaolin from Whitemud sediments near Wood Mountain.

In the Moose River basin southwest of the tip of James Bay, northern Ontario, extensive clay deposits are exposed along river banks[16]. The clays have also been intersected by drilling, but few analyses are available although some samples are characterized as "fireclay", implying a fairly high alumina content. Much of the clay is intermixed with quartz sand and some of the occurrences are in remote locations. Some of the more promising locations are on the Mattagami River near the Kipling-Sandborn Township line, where a considerable thickness of fireclay mixed with carbonaceous material has been found, a sample of which contained 31% Al_2O_3. Considerable quantities of clays are associated with the lignitic coals near Onakawana, between the Abitibi and Mattagami Rivers. Dark fire clays containing carbonaceous material overlie the coal seams and occur between the two principal seams. Development of this coalfield would increase the potential of these clays as a source of alumina, but much additional information is required about this deposit. The Ontario Northland Railway, which crosses the Onakawana coal field, provides good transportation from this location.

Kaolinitic clay deposits in other parts of Canada are generally too small to be considered as sources of material for alumina extraction operations[16], with the possible exception of a deposit along the Musquodoboit valley in Nova Scotia, about 70 km northeast of Halifax. This deposit, variable in composition (21 to 35% Al_2O_3), would require extensive drilling for its potential to be proved.

d) Nepheline syenite

Nepheline syenite is an igneous rock with a low quartz content, in which the principal minerals are nepheline, feldspars and some iron-containing minerals.

In southern Ontario the Blue Mountain deposit, about 50 km northeast of Peterborough, is quarried to supply nepheline syenite for the glass and ceramic industry. This established market would have to be given up if production were to be dedicated instead to alumina production. While the deposit is large, perhaps some 100 Mt, it has a significantly lower alumina content (23.5%) than the higher-grade anorthosites.

Other nepheline syenite deposits, near Bancroft, Ontario, are either too small or too low in nepheline content and high in iron-containing minerals[17]. Some of the deposits were critically examined during the 1940s as possible alumina sources. It was then concluded that, although large quantities averaging 24% Al_2O_3 were available, tonnages of high-grade material (over 28% Al_2O_3) were insufficient.

Processes for the Extraction of Alumina

a) Acid extraction processes

Acid extraction processes are most commonly considered for the recovery of alumina from kaolinitic clays and materials such as coaly wastes in which the principal aluminous material is kaolinite[18]. The clay

requires heat treatment called calcination to make the alumina soluble. If coaly waste is being treated, the carbonaceous material can supply fuel for the calcination. Fluidized bed combustion at a controlled temperature between 750 and 850°C would be a suitable means of calcining the contained kaolinite in coaly waste from a deposit such as Hat Creek. Some 85% of the alumina could then be extracted by leaching with acid[19]. Clay samples from Saskatchewan and northern Ontario have been treated, on a laboratory scale, by acid extraction[14,20,21]. After calcination the alumina can be extracted with hydrochloric, sulphuric or nitric acid.

Several different procedures have been used to treat the solutions resulting from acid extraction. A process for the recovery of alumina after hydrochloric acid leaching has been investigated extensively[21,22]; aluminum chloride hexahydrate is precipitated by passing HCl gas into the solution (a process known as sparging), following which the $AlCl_3.6H_2O$ is decomposed by fluidized bed calcination to alumina and HCl for recycle[23]. A double precipitation by HCl sparging improves the purity of the $AlCl_3.6H_2O$[24]. Alternatively, a crude alumina can be produced by evaporation of the leach solution to dryness, followed by calcination. The crude alumina can then be purified by a modified Bayer process[25]. This acid leach - caustic purification process produces alumina that meets required specifications. Such a process would generally have excessively high energy requirements, but might be feasible where low-cost waste heat from a thermal electrical generating station[26] would be available for evaporating solutions.

In the "H-plus" process developed by Aluminium Pechiney and Alcan, a hot sulphuric acid leach solution is cooled to precipitate a hydrated aluminum sulphate; the aluminum sulphate is dissolved and $AlCl_3.6H_2O$ is precipitated and calcined to alumina[27]. This process has been applied to coal shales and clay in a pilot plant producing 15 to 20 t/d of alumina. The "H-plus" process would appear to be suitable for coaly wastes and for kaolinitic clays.

Processes involving the use of nitric acid to leach clays have been investigated[28], but difficulty has been encountered in recycling the nitric acid.

Acid extraction processes can be applied also to materials other than clay. Anorthosites, although generally insoluble in sulphuric and hydrochloric acids, can be rendered soluble by melting and quenching to a glass. There are, however, some anorthosites that are soluble in acids[30]; samples from Harp Lake, Labrador, and Shawmere and River Valley, Ontario, were leached by hot hydrochloric acid[8]. But acid leaching of anorthosite has disadvantages, because calcium and sodium form salts, which raises acid consumption. The rate of solution of anorthosite in hydrochloric acid can be significantly increased by the presence of fluosilicic acid in the solution[30].

There is some difficulty with acid processes in attaining desired specifications for certain impurities, such as magnesium and phosphorus, in the product alumina. This problem is particularly important if the raw material has relatively high levels of impurity, but it can be overcome by the acid leach - caustic purification process.

b) Sinter processes

Sinter processes are generally more appropriate than acid processes for treating materials such as anorthosite and nepheline syenite, which contain substantial amounts of acid-consuming alkali and alkali earth oxides. In sinter processes, the alumina source is crushed, ground, mixed with limestone and sometimes soda ash (sodium carbonate), and pelletized or briquetted prior to sintering at 1200 to 1300°C. During the sintering, insoluble dicalcium silicate (Ca_2SiO_4) is formed. After cooling, the soluble alumina compounds are extracted by leaching the sinter with a sodium carbonate solution.

There are various sinter processes. In the lime-soda sinter process, Na_2CO_3 is added in sufficient quantity to form sodium aluminate from all the alumina present[31]. In the lime-sinter process[32], no Na_2CO_3 is added; the resultant sinter decrepitates spontaneously on cooling due to a crystallographic transformation in the Ca_2SiO_4, thus avoiding the necessity for grinding. In a modified lime-sinter process, Na_2CO_3 is added so that about 40 to 60% of the alumina could form sodium aluminate; this process yields higher extraction rates than when there is a deficiency of soda in the charge, and a decrepitating sinter is generally obtained[33]. Iron oxide[34] and magnesium oxide[35] can have deleterious effects on alumina extraction in the sinter processes; too much sodium oxide in the sinter will tend to suppress decrepitation.

The sinter, after crushing if necessary, is leached with a sodium carbonate solution to extract the alumina. Some silica also is leached and this must be removed in a desilication step; generally the solution is heated with added lime (CaO or $Ca(OH)_2$)[36]. After removal of the solid desilication product by filtration, the solution is carbonated with CO_2 gas to precipitate aluminum hydroxide, which is separated, washed and calcined to alumina. Sodium carbonate is recovered from the filtrate by evaporation and recycled to the leaching stage and to the sintering stage if required.

Sinter processes have been applied on a laboratory scale to several potential Canadian alumina sources. Anorthosites have been examined, including samples from Lac St. Jean[32,33] La Bostonnais[37], Chibougamau[37] and Shawmere[38] deposits, with extractions from the sinter of up to 98% under favourable conditions. The treatment of nepheline syenite by a sinter process was investigated during the 1940s. Fly ash, which is resistant to attack by acid, can be treated by the modified lime-sinter process; laboratory tests on fly ash from coal-fired electrical generating stations in Alberta have shown alumina extractions from sinters of more than 85% under appropriate conditions[33]. Comparable results were obtained with fly ash from combustion tests on Hat Creek coal, after partial removal

of iron oxide by magnetic separation[39]. Kaolinitic clays are also amenable to the modified lime-sinter process[40], although for clays acid processes are generally more suitable. If the clay forms part of a coaly waste it is possible to apply the sinter process to the coaly waste directly, using the combustible material to supply part of the fuel for sintering[41].

Sinter processes, under the right conditions, will attack many materials that are resistant to acid and materials that would require high acid consumption. Such processes do, however, generate large quantities of waste material. This waste consists principally of dicalcium silicate, equivalent to about eight times the mass of the alumina product. Where market conditions were appropriate, the waste might be used in the manufacture of Portland cement[42]. Energy requirements for sinter processes are high, and it is difficult to attain specifications for silica content of the alumina.

It is quite clear that the extraction of alumina from several domestic sources is technically possible. The HCl extraction - caustic purification process, which has been tested on a laboratory scale, can produce alumina meeting the exigent specifications for cell-grade alumina. Under conditions of necessity, alumina adequate for use in reduction cells to make aluminum other than of the highest purity could be produced by some of the other processes. The acid processes are probably somewhat further developed than the sinter processes.

Capital and operating costs for these processes are very difficult to estimate on the basis of the limited data available. Non-bauxitic materials are at a cost disadvantage in making alumina as considerable energy is required for calcination, sintering and the evaporation of solutions.

The most attractive process for Canadian raw materials is probably the acid leach - caustic purification process using coaly waste as raw material. Extraction of alumina by the Alcan-Pechiney H-plus process should also be feasible at comparable cost. Alumina produced by these methods would, with optimistic cost assumptions, be at least 10% more expensive than alumina produced from bauxite by the Bayer process. The sinter process would be more expensive to use on coaly waste. It would best be applied if the residues could be used for cement manufacture.

The anorthosites of eastern Canada undoubtedly represent a source that could theoretically supply the country's alumina requirements for a long time. Aluminum produced from this source by a sinter process with high energy requirements would currently be at least 40% more expensive than alumina produced from bauxite by the Bayer process.

Alumina extraction from clays by the HCl or the H-plus processes requires more fuel than do similar processes applied to coaly wastes.

References

1. W.K. Gummer, "Potential Sources of Alumina in Canada", CIM Bulletin, Vol. 45, No. 486, October 1952, pp. 605-610.

2. N.W. Bliss, "Non-bauxite Sources of Alumina: A Survey of Canadian Potential", CIM Bulletin, Vol. 69, No. 774, October 1976, pp. 75-85.

3. E.W. Greig, and M.J. Adams, "Non-bauxite Sources of Alumina", in N.J. Connell (ed.), "World Aluminum Survey", London, Metal Bulletin Ltd., 1977, pp. 73-82.

4. T. Shabad, "Raw Material Problems of the Soviet Aluminium Industry", Resources Policy, Vol. 2, No. 4, December 1976, pp. 222-234.

5. R.M. Buchanan, "A Survey and Appraisal of Published Information on Anorthosite in Canada", Energy, Mines and Resources Canada, CANMET, Mineral Sciences Laboratories, Unpublished Report, 1979, n.p.

6. C. Paré, "Sources de minerai propre à l'extraction de l'alumine et autres substances connexes", Québec, Ministère des richesses Naturelles, Document public 271, 1974, 17 p.

7. V.S. Papezik, "Geochemistry of Some Canadian Anorthosites", Geochimica et Cosmochimica Acta, Vol. 29, No. 6, June 1965, pp. 673-709.

8. C.A. Hamer, "Hydrochloric Acid Leaching of Alumina from Ontario and Quebec Anorthosites", Energy, Mines and Resources Canada, CANMET, Mineral Sciences Laboratories Report MRP/MSL 81-91 (IR), 1981, 8 p.

9. D.D. Campbell, L.T. Jory and C.R. Saunders, "Geology of the Hat Creek Coal Deposits", CIM Bulletin, Vol. 70, No. 782, June 1977, pp. 99-108.

10. R.S. Dean, "Evaluation of the Hat Creek, British Columbia, Coal Deposits as Potential Sources of Non-bauxitic Alumina: A Preliminary Mineralogical Investigation", Energy, Mines and Resources Canada, CANMET, Mineral Sciences Laboratories Report MRP/MSL 79-138 (IR), 1979, 24 p.

11. T.E. Tibbetts, "Evaluation of Canadian Commercial Coals: Saskatchewan, Alberta and British Columbia - 1975", Energy, Mines and Resources Canada, CANMET Report 76-41, 1976, 59 p.

12. T.E. Tibbetts, W.J. Montgomery and D.K. Faurschou, "Analysis Directory of Canadian Commercial Coals - Supplement No. 3", Energy, Mines and Resources Canada, CANMET Report 79-7, 1979, 81 p.

13. A.A. Winer and T.E. Tibbetts, "Coal Associated Materials as Potential Non-bauxite Sources of Alumina", Energy, Mines and Resources Canada, CANMET Report 78-31, 1978, 14 p.

14. D.H.H. Quon, "Acid Processes for the Extraction of Alumina: Part I. Kaolinized Sand from Fir Mountain, Saskatchewan", Energy, Mines and Resources Canada, CANMET, Mineral Sciences Laboratories Report MRP/MSL 77-384 (IR), 1977, 33 p.

15. K.E. Bell, "The Resource Potential of the Whitemud Formation in Saskatchewan as a Non-bauxite Source of Alumina", Energy, Mines and Resources Canada, CANMET, Mineral Sciences Laboratories Report MRP/MSL 78-102 (IR), 1978, 21 p.

16. K.E. Bell, "Canadian Clay Resources for Alumina: Summary Report", Energy, Mines and Resources Canada, CANMET, Mineral Sciences Laboratories Report MRP/MSL 79-52 (IR), 1979, 26 p.

17. D.F. Hewitt, "Nepheline Syenite Deposits of Southern Ontario", Ontario Department of Mines Annual Report, Vol. 69, Part 8, 1960, 194 p.

18. C.A. Hamer, "Acid Extraction Processes for Non-bauxite Alumina Materials", Energy, Mines and Resources Canada, CANMET Report 77-54, 1977, 41 p.

19. C.A. Hamer, "Alumina from Fluidized Bed Combustion Ash of Hat Creek, B.C., Coaly Waste - Part I: Acid Extraction", Energy, Mines and Resources Canada, CANMET, Mineral Sciences Laboratories Report MRP/MSL 79-21 (IR), 1979, 26 p.

20. D.H.H. Quon and G.R. Lemieux, "Acid Processes for the Extraction of Alumina: Part II. Clays from Willows, Willow Bunch, and Flintoft, Southern Saskatchewan", Energy, Mines and Resources Canada, CANMET, Mineral Sciences Laboratories Report MRP/MSL 78-107 (IR), 1978, 30 p.

21. D.H.H. Quon and G.R. Lemieux, "Acid Process for the Extraction of Alumina: Part III. Acid Extraction of Alumina from an Ontario Clay; Part IV, Alumina Purification", Energy, Mines and Resources Canada, CANMET, Mineral Sciences Laboratories Report MRP/MSL 78-210 (IR), 1978, 44 p.

22. H.O. Poppleton and D.L. Sawyer, "Hydrochloric Acid Leaching of Calcined Kaolin to Produce Alumina", in K.B. Higbie (ed.), "Light Metals 1977, Vol. 2", New York, The Metallurgical Society of AIME, 1977, pp. 103-114.

23. P. Marchessaux, L. Plass and L. Reh, "Thermal Decomposition of Aluminium Hexahydrate Chloride ($AlCl_3x6H_2O$) for Alumina Production", in W.S. Peterson (ed.), "Light Metals 1979", New York, The Metallurgical Society of AIME, 1979, pp. 189-204.

24. C. Hamer, "Alumina from Fluidized-bed Combustion Ash of Hat Creek, B.C., Coaly Waste - Part II. Alumina Recovery and Purification by an HCl process", Energy, Mines and Resources Canada, CANMET, Mineral Sciences Laboratories Report MRP/MSL 79-144 (IR), 1979, 35 p.

25. C.A. Hamer, "Alumina from Fluidized-bed Combustion Ash of Hat Creek, B.C., Coaly Waste - Part III. Alumina Recovery and Purification by an HCl-caustic Process", Energy, Mines and Resources Canada, CANMET, Mineral Sciences Laboratories Report MRP/MSL 80-152 (IR), 1980, 16 p.

26. J. Palmer, "Capital and Operating Cost Estimates for Producing Alumina from Hat Creek Coaly Waste Using HCl - Caustic Purification Processes", Energy, Mines and Resources Canada, CANMET, Mineral Sciences Laboratories Report MRP/MSL 80-50 (IR), 1980, 18 p.

27. J. Cohen and H. Mercier, "Recovery of Alumina from Non-bauxite Raw Materials", in S.R. Leavitt (ed.), "Light Metals 1976, Vol. 2", New York, The Metallurgical Society of AIME, 1976, pp. 3-18.

28. S.V. Margolin and R.W. Hyde, "The ADL Nitric Acid Process for Recovery of Alumina from Aluminum-bearing Minerals", in H. Forberg (ed.), "Light Metals 1974, Vol. 2", New York, The Metallurgical Society of AIME, 1974, pp. 469-487.

29. N. Gjelsvik, "Extracting Alumina from Acid-soluble Anorthosite by the Anortal Process", in C.J. McMinn (ed.), "Light Metals 1980", Warrendale, PA, The Metallurgical Society of AIME, 1980, pp. 133-148.

30. C.A. Hamer, "Extraction of Alumina from Anorthosite by Hydrochloric Acid - Fluosilicic Acid Leaching", Energy, Mines and Resources Canada, CANMET, Mineral Sciences Laboratories Report MRP/MSL 77-278 (IR), 1977, 31 p.

31. D.H.H. Quon, "Extraction of Alumina from Canadian and American Anorthosite by the Lime-soda-sinter Process", Energy, Mines and Resources Canada, CANMET Report 76-26, 1976, 31 p.

32. L.G. Ripley, "Extraction of Alumina from Canadian Anorthosite by the Lime-sinter Process", Energy, Mines and Resources Canada, CANMET, Mineral Sciences Laboratories Report MRP/MSL 76-299 (IR), 1976, 51 p.

33. L.G. Ripley, "Effect of Sodium Carbonate Additions in the Lime-sinter Process and the Subsequent Extraction of Alumina from Five Non-bauxite Sources", Energy, Mines and Resources Canada, CANMET, Mineral Sciences Laboratories Report MRP/MSL 78-89 (IR), 1978, 42 p.

34. L.G. Ripley, "Magnetic Separation of Iron from Fly Ash and the Extraction of Alumina from the Non-magnetic Fraction by the Modified Lime-sinter Process", Energy, Mines and Resources Canada, CANMET, Mineral Sciences Laboratories Report MRP/MSL 78-224 (IR), 1978, 53 p.

35. L.G. Ripley, "Effect of Magnesia on the Extraction of Alumina by the Lime-sinter Process", Energy, Mines and Resources Canada, CANMET, Mineral Sciences Laboratories Report MRP/MSL 80-170 (IR), 1980, 30 p.

36. B.H. Lucas, "Desilication of Sodium Aluminate Solutions", Energy, Mines and Resources Canada, CANMET, Mineral Sciences Laboratories Report MRP/MSL 80-13 (IR) 1980, 21 p.

37. L.G. Ripley, "Extraction of Alumina from Two Quebec Anorthosites (Chibougamau and La Bostonnais) by the Modified Lime-sinter Process", Energy, Mines and Resources Canada, CANMET, Mineral Sciences Laboratories Report MRP/MSL 80-164 (IR), 1980, 22 p.

38. L.G. Ripley, "Extraction of Alumina from Five Ontario Anorthosites by the Modified Lime-sinter Process", Energy, Mines and Resources Canada, CANMET, Mineral Sciences Laboratories Report MRP/MSL 79-137 (IR), 1979, 35 p.

39. L.G. Ripley, "Extraction of Alumina from Fly Ash and Furnace Deposits from Hat Creek Coal by the Modified Lime-sinter Process", Energy, Mines and Resources Canada, CANMET, Mineral Sciences Laboratories Report MRP/MSL 78-230 (IR), 1978, 60 p.

40. L.G. Ripley, "Extraction of Alumina from Canadian Clay by the Modified Lime-sinter Process", Energy, Mines and Resources Canada, CANMET, Mineral Sciences Laboratories Report MRP/MSL 78-94 (IR), 1978, 51 p.

41. L.G. Ripley, "Extraction of Alumina from Hat Creek Coaly Waste by the Modified Lime-sinter Process", Energy, Mines and Resources Canada, CANMET, Mineral Sciences Laboratories Report MRP/MSL 79-101 (IR), 1979, 39 p.

42. L.G. Ripley, "Analyses of the Leach Residues from the Modified Lime-sinter Process and the Possible Utilization of the Residues in the Cement Industry", Energy, Mines and Resources Canada, CANMET, Mineral Sciences Laboratories Report MRP/MSL 79-35 (IR), 1979, 37 p.

APPENDIX 4

GENERAL REFERENCES

Baumgardner, L.H., "Bauxite", in U.S. Bureau of Mines, "Mineral Commodity Summaries 1987", Washington, D.C., U.S. Bureau of Mines, 1987, pp. 18-19.

Baumgardner, L.H. and Hough, R.A., "Bauxite and Alumina", in U.S. Bureau of Mines, "Minerals Yearbook 1984, Volume 1: Metals and Minerals", Washington D.C., G.P.O., 1986, pp. 141-152.

Bokovay, G., "Aluminum", in "Canadian Minerals Yearbook 1986", Energy, Mines and Resources Canada, Mineral Report 35, 1987, pp. 6.1-6.15.

Charles Rivers Associates, Incorporated, "Policy Implications of Producer Supply Restrictions: The World Aluminum/Bauxite Market", CRA Report No. 220, Cambridge, Massachusetts, 1977, 265 p.

Crockett, R.N., "Bauxite, Alumina and Aluminium", United Kingdom, Mineral Resources Consultative Committee, Mineral Dossier No. 20, London, HMSO, 1978, 53 p.

H.P. Drewry (Shipping Consultants) Ltd., "Ocean Shipping of Bauxite and Alumina", Shipping Study No. 43, March 1976, London, England, 1976, 78 p.

Dykes, J.F., "Survey of Planned Increases in World Bauxite, Alumina and Aluminium Capacities, 1975-1983", London, England, Aluminium Conductor Development Corporation, 1978, 130p.

Hill, V.G., Robson, R.J. and Ostojic, S., "Some Implications of the Changing Bauxite Supply Patterns", in J.E. Andersen (ed.), "Light Metals 1982", Warrendale, PA, The Metallurgical Society of AIME, 1982, p. 3-27.

Larsen, J.E., "World Aluminium Mine, Refinery and Smelter Capacity Handbook 1984-1995", Sydney, N.S.W., Australia, Australian Mineral Economics Pty. Ltd., 1985, 123p.

MacMillan, A., "Annual Review of the World Aluminium Industry 1986", London, England, Shearson Lehman Brothers Limited, 1986, 115 p.

MacMillan, A., and Briggs, S., "Annual Review of the World Aluminium Industry 1987", London, England, Shearson Lehman Brothers Limited, 1987, 109p.

Master, P.P., "Evaluation and Geology of Kaolinized Sediments, Wood Mountain, Saskatchewan", in C.F. Gilboy and L.W. Vigrass (eds.), "Economic Minerals of Saskatchewan, Proceedings of a Symposium held in Regina, November 17 and 18, 1986", Saskatchewan Geological Society, Special Publication No. 8, Regina, 1987, pp. 166-181.

McCawley, F.X. and Baumgardner, L.H., "Aluminum", in A.W. Knoerr (ed.), "Mineral Facts and Problems, 1985 Edition", U.S. Bureau of Mines, Mineral Bulletin 675, Washington, D.C., G.P.O., 1985, pp. 9-31.

D.M. Newbold (ed.), "Jobson's Mining Year Book, 1985-1986", Australia, Dun & Bradstreet Pty. Ltd., 1985, 534p.

Palache, C., Berman, H., and Frondel, C., "The System of Mineralogy, Seventh Edition, Vol. I", New York, John Wiley and Sons, Inc., 1944, 834 p.

Power, T., "Fused Minerals - the High Purity High Performance Oxides", Industrial Minerals, No. 214, July 1985, pp. 37-57.

Stankovich, I.D., "The Aluminium Industry in Eastern Europe and Communist Asia", Worcester Park, Survey, England, Metal Bulletin PLC, 1981, 83 p.

Toon, S., "Abrasive Minerals: Hard Work in Soft Markets", Industrial Minerals, No. 231, December 1986, pp. 53-71.

Woods, D.W. and Burrows, J.C., "The World Aluminum-Bauxite Market: Policy Implications for the United States, A Charles Rivers Associates Research Report", New York, Praeger Publishers, 1980, 237 p.

BULLETIN MINÉRAL MR 219

BAUXITE ET ALUMINE

PRODUITS MINÉRAUX IMPORTÉS

1987

Énergie, Mines et Ressources Canada

L'hon. Marcel Masse, Ministre

Energy, Mines and Resources Canada

Hon. Marcel Masse, Ministre

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1988

En vente au Canada par l'entremise de nos

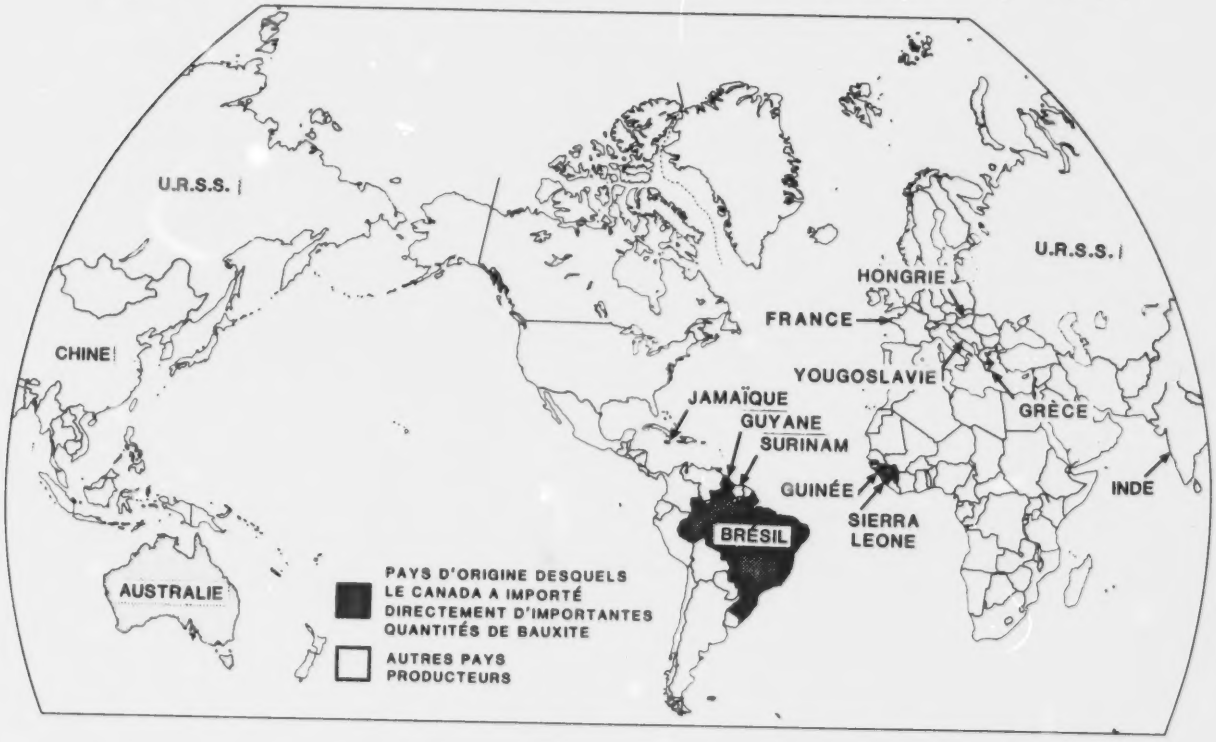
agents libraires agréés
et autres librairies

ou par la poste auprès du

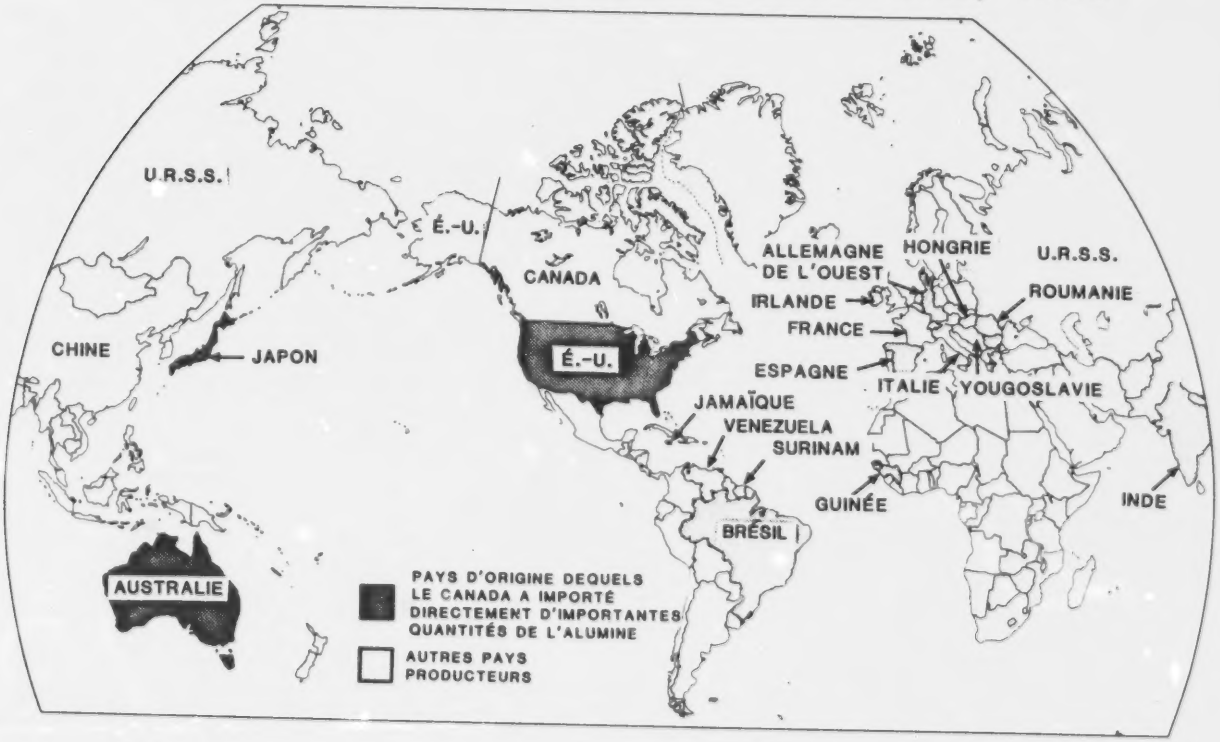
Centre d'édition du gouvernement du Canada
Approvisionnements et Services Canada
Ottawa (Canada) K1A 0S9

N° de catalogue M38-2/219
ISBN 0-660-54194-7

PRINCIPAUX PRODUCTEURS DE BAUXITE, 1986



PRINCIPAUX PRODUCTEURS D'ALUMINE, 1986



AVANT-PROPOS

Producteur de quelque 60 produits, le Canada occupe le troisième rang dans l'industrie minérale mondiale, après les États-Unis et l'U.R.S.S., par la valeur et la diversité de sa production; de plus, il en est le plus grand exportateur.

Le Canada jouit donc d'une position privilégiée, non seulement parce qu'il possède d'importantes ressources minérales sur son territoire, mais également parce qu'il peut subvenir à la plupart de ses propres besoins en minéraux. Bon nombre de Canadiens pourraient donc s'étonner d'apprendre que les importations de minéraux et de leurs dérivés se chiffrent à plusieurs milliards de dollars par année.

Certains produits importés, tels que le minerai de fer et divers minéraux industriels, sont également extraits de notre sol, contrairement à d'autres, comme la bauxite, le chrome, le manganèse et les phosphates.

Pour déterminer la vulnérabilité du Canada à la pénurie éventuelle d'un produit minéral importé, il faut tenter de répondre aux questions suivantes:

- Quels sont les pays producteurs de ce minéral?
- Quel itinéraire parcourt-il jusqu'au Canada?
- Jusqu'à quel point la chaîne d'approvisionnement est-elle vulnérable aux interruptions de nature politique ou autre?
- De quelle quantité de ce minéral avons-nous besoin, et pour produire quoi exactement?
- Existe-t-il d'autres sources d'approvisionnement?
- Peut-on trouver des substituts au Canada ou à l'étranger?
- Quelles mesures faudrait-il prendre afin d'obtenir ce minéral d'une autre source ou d'employer un substitut?
- En résumé, dans quelle mesure l'approvisionnement futur du Canada pour le minerai en question est-il menacé, et quelles mesures de prévention devrions-nous prendre dès maintenant?

La BAUXITE et l'ALUMINE sont des matériaux utilisés au Canada pour produire de l'aluminium; le présent rapport examine la situation de deux des rares matières premières que le Canada doit actuellement importer en totalité. Ce rapport est le septième d'une série visant à évaluer les problèmes possibles dans l'approvisionnement de certains minéraux non combustibles, et destinée à servir de base à une politique gouvernementale susceptible d'orienter la recherche afin de réduire notre dépendance envers les importations. R.J. Shank traite de la question générale des minéraux stratégiques dans un document intitulé "Dépendance du Canada à l'égard des minéraux et des métaux importés - Questions à l'étude", rapport interne du Secteur de la politique minérale MRI 81/7.

Les fonctionnaires du ministère de l'Énergie, des Mines et des Ressources, dont les noms suivent, ont collaboré à la rédaction du présent rapport: A.H. Webster, du Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie, H. Dunsmore, de la Commission géologique du Canada, et G. Bokovay, T.C. Newman et J. Zwartendyk, du Secteur de la politique minérale.

La coordination de l'étude a été assurée par A.B.T. Werner de la Division de l'évaluation des ressources, Secteur de la politique minérale.

R.R. Sully
Sous-ministre adjoint
(Secteur de la politique minérale)

TABLE DES MATIÈRES

		Page
INTRODUCTION		1
PARTIE I.	COMPOSÉS ET UTILISATIONS	2
PARTIE II.	SOURCES DE BAUXITE ET D'ALUMINE REQUISES AU CANADA	5
	Généralités	5
	Aspects de la propriété	11
	Tour d'horizon des pays exportateurs	11
	Revue des liens entre les sociétés	17
	Association internationale de la bauxite (IBA)	20
PARTIE III.	POTENTIEL DE PRODUCTION INTÉRIEURE D'ALUMINE À PARTIR DE SOURCES ROCHEUSES	22
PARTIE IV.	RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS	24

ANNEXES

1.	QUELQUES RÉCENTS PRIX DE LA BAUXITE ET DE L'ALUMINE	26
2.	RÉSERVES ET PRODUCTION MONDIALES	27
	Réserves mondiales	27
	Production mondiale de la bauxite	28
	Production mondiale de l'alumine	33
3.	PRODUCTION DE L'ALUMINE À PARTIR DE SOURCES NON BAUXITIQUES	39
	Données préliminaires	39
	Types de gisements	40
	Procédés d'extraction de l'alumine	44
4.	RÉFÉRENCES GÉNÉRALES	52

Page

TABLEAUX

1. Principaux minéraux aluminifères 2

2. Normes typiques des catégories de bauxite 3

3. Consommation canadienne estimée et sources d'alumine, en 1986 5

4. Importations de bauxite et d'alumine, en 1985 et 1986 8

5. Production de bauxite et d'alumine dans les principaux pays exportateurs du Canada, en 1985 11

6. Situation des stocks de réserves de bauxite des États-Unis, au 30 septembre 1986 15

A-1 Réserves mondiales 27

A-2 Production minière mondiale de bauxite, par pays, années selectionnées de 1960 à 1986 28

A-3 Principaux producteurs occidentaux de bauxite 29

A-4 Production mondiale d'alumine, par pays, années sélectionnées de 1960 à 1985 33

A-5 Principaux producteurs d'alumine des pays occidentaux 35

FIGURES

En frontispice: Principaux producteurs de bauxite, en 1986; Principaux producteurs d'alumine, en 1986

1. Usines d'électrolyse dans l'est du Canada, en 1987 7

2. Importations de bauxite et d'alumine au Canada, de 1984 à 1986 9

3. Mines de bauxite et affineries d'alumine en Australie, en 1987 13

4. Groupe Alcan - Réseaux d'approvisionnement de bauxite et d'alumine des sociétés productrices, 1987 18

5. Groupes Reynolds et A.B.I. - Réseaux d'approvisionnement de bauxite et d'alumine des sociétés productrices, 1987 19

INTRODUCTION

La bauxite, le principal minerai d'aluminium, est une roche constituée d'hydroxydes d'aluminium et d'impuretés comme la silice, l'argile, le bioxyde de titane et les hydroxydes de fer.

La bauxite sert surtout à la préparation de l'alumine (oxyde d'aluminium), qui est la base de la métallurgie de l'aluminium. Quatre à cinq tonnes de bauxite séchée donnent quelque deux tonnes d'alumine qui produisent, à leur tour, une tonne d'aluminium.

Certaines catégories de bauxite entrent dans la composition des abrasifs et des réfractaires.

La préparation de l'alumine destinée à la production de métal comprend les étapes suivantes: dissolution de la bauxite séchée dans une solution de soude, filtration de la solution liquide, précipitation des hydroxydes d'aluminium, puis chauffage à plus de 1 100 °C, pour obtenir un mélange complètement déshydraté, par calcination. De l'alumine fondue pour la fabrication d'abrasifs est obtenue par calcination de la bauxite séchée, suivie de la fusion du produit calciné dans un four à arc électrique.

En 1986, le Canada produisit quelque 1,4 million de tonnes (Mt) d'aluminium, valant environ 2,200 millions de dollars dont 85% fut, en grande partie, exporté aux États-Unis. Le Canada a fourni quelque 11% de l'aluminium de première fusion produit dans les pays occidentaux.

Les trois producteurs canadiens d'aluminium dont les activités sont totalement tributaires de l'importation de quelque 70 millions de dollars en bauxite et 350 millions de dollars en alumine, pour leurs opérations, sont: 1) la Société d'Électrolyse et de Chimie Alcan Limitée, une filiale d'Alcan Aluminium Limitée; 2) la Société canadienne de Métaux Reynolds, limitée, une filiale de la Reynolds Metals Company des États-Unis; et 3) l'Aluminerie de Bécancour Inc. (A.B.I.), une société en participation appartenant à la Reynolds Metals Company (25,05 %), à Aluminium Pechiney SA de France (25,05 %), à Alumax Inc., une filiale à 100 % de la société AMAX Inc., des États-Unis (24,95 %) et au Gouvernement du Québec, par le truchement de la compagnie Albécour Inc., une filiale à 100 % de la Société générale de financement du Québec (SGF) (24,95 %).

L'industrie nord-américaine d'alumine fondue, qui fournit des matières premières demi-finies à forte intensité d'énergie à l'industrie des abrasifs, est centrée dans la région de Niagara Falls, en Ontario et dans l'État de New-York. La production annuelle de l'industrie de l'alumine fondue qui se chiffre à près de 70 millions de dollars, est importante, mais elle est basse comparée au rendement de 2,200 millions de dollars de l'industrie de l'aluminium. La société General Abrasive Operations Dresser Canada, Inc., la Compagnie Norton et la société Washington Mills Limited produisent de l'alumine brune fondue à Niagara Falls, en Ontario. La Exolon-ESK Company of Canada, Ltd. produit ce matériau à Thorold, en Ontario. La plupart des grains d'alumine à l'état brut de fabrication canadienne sont exportés aux États-Unis. Pour satisfaire aux besoins nord-américains, le Canada fournit près de trois quarts de ce produit.

PARTIE I. COMPOSÉS ET UTILISATIONS

L'alumine (oxyde d'aluminium) est le constituant principal de nombreux minéraux argileux présents à l'état naturel, comme la gibbsite, la boehmite et le diaspore (Tableau 1). Les gisements de bauxite, qui résultent de l'altération, sous un climat tropical, des feldspaths dans certains types de roches, contiennent des proportions variables de ces minéraux argileux.

Tableau 1

Principaux minéraux aluminifères

Minéral	Formule	Teneur en alumine (%)
Boehmite[1]	Al_2O_3-H_2O)	77,95 - 84,98
Diaspore	Al_2O_3-H_2O)	
Gibbsite	Al_2O_3-$3H_2O$	62,80 - 65,35
Alunite	(K, Na), $Al_3(SO_4)_2(OH)_6$	36,92 - 39,65

Sources: McCawley, F.X. et Baumgardner, L.H. "Aluminum", dans le U.S. Bureau of Mines, "Mineral Facts and Problems, 1985 Edition", p. 11.
Palache, C., Berman, H. et Frondel, C. "The System of Mineralogy, Volume I", p. 665 et 677; "The System of Mineralogy, Volume II", p. 558.

[1] Les analyses séparées pour la boehmite ne sont pas disponibles.

Exploitée, la **bauxite brute** peut renfermer de 5 à 30 % d'humidité libre. Chauffée à 320 °C dans des fours de séchage rotatifs, elle devient de la **bauxite séchée**, qui est plus légère, et donc plus économique à transporter. Néanmoins, beaucoup de bauxite a été expédiée à l'état humide afin d'éviter les problèmes de poussière. Lorsque le minerai brut est chauffé entre 900 °C et 1 000 °C, la matière volatile, y compris l'eau combinée chimiquement, est dissipée, et on obtient de la **bauxite calcinée.**[1]

La **bauxite séchée** est la forme la plus commune sous laquelle ce minerai est transporté. Elle est utilisée pour obtenir de l'alumine de grande pureté, par le procédé Bayer. L'alumine pure est nécessaire à la production d'aluminium métallique par la méthode Hall-Héroult. Dans le procédé Bayer, la bauxite séchée est dissoute, sous pression, dans de l'hydroxide de sodium aqueuse, à une température d'environ 140 °C, si la gibbsite est le principal minéral d'aluminium présent dans la bauxite, et à

des températures plus élevées, si la bauxite contient de la boehmite. La résidu insoluble, appelé "boues rouges", est composé d'oxyde de fer, de silicoaluminate de sodium et d'autres impuretés. Après séparation des boues rouges, la liqueur est ensemencée de fins cristaux d'hydroxyde d'aluminium, et le précipité d'hydroxyde obtenu est calciné entre 1 100 °C et 1 200 °C pour obtenir l'alumine.

La **bauxite calcinée,** utilisée dans la fabrication de grains d'alumine destinés à la production d'abrasifs et de réfractaires d'alumine, a un marché beaucoup plus petit que celui de la bauxite et de l'alumine utilisées pour produire de l'aluminium. Dans la fabrication des abrasifs, la bauxite est fondue dans un four à arc électrique. Ce type de four requiert l'utilisation de bauxite calcinée, qui de ce fait ne contient pas d'eau libre ni combinée. De la bauxite calcinée doit également être utilisée dans l'industrie des réfractaires d'alumine, car la présence d'eau libre ou combinée entraînerait un rétrécissement inacceptable durant la cuisson des briques d'alumine réfractaire.

Les spécifications en matière de qualité varient beaucoup selon l'utilisation prévue. Si la bauxite est destinée pour la fabrication des abrasifs et des réfractaires d'alumine, elle doit répondre à des normes plus strictes que si elle est utilisée pour la production du métal (voir Tableau 2).

Tableau 2

Normes typiques des catégories de bauxite

Constituant	catégorie métal (séchée type "Jamaïquain")	catégorie abrasif (calcinée)	catégorie réfractaire (calcinée)
	(% poids, contenu maximum à l'exception du Al_2O_3)		
Al_2O_3	47,0(minimum)	83,0(minimum)	86,5(minimum)
Autres composants:			
SiO_2	3,0	6,0	7,0
Fe_2O_3	22,0	8,0	2,5
TiO_2	3,0	3,0-4,5	3,75
$K_2O + Na_2O$	SN	0,7	0,2
$MgO + CaO$	SN	SN	0,3
CaO	SN	0,2	SN
MgO	SN	0,4	SN
$MnO_2 + Cr_2O_3 + V_2O_5$	2,0	1,0	1,0
P_2O_5	1,5	0,5	SN
Perte de poids après chauffage	SN	1,0	0,5

Source: McCawley, F.X. et Baumgardner, L.H. "Aluminum", dans le U.S. Bureau of Mines, "Mineral Facts and Problems, 1985 edition", p.11.

SN sans normes

Dans la fabrication d'abrasifs d'alumine, la bauxite calcinée, mélangée à du coke et des tournures de fer, est introduite dans un four électrique. L'addition de coke permet d'éliminer une bonne partie des impuretés, lesquelles se combinent au fer et se déposent au fond du four. La silice est éliminée sous forme d'un alliage fer-silicium. Le produit est concassé et broyé pour obtenir des grains d'alumine brune fondue.

La bauxite utilisée dans l'industrie des réfractaires doit avoir une faible teneur en fer. Les réfractaires riches en alumine sont pourvus de 45 à 99 % de Al_2O_3, et d'échantillons complémentaires en silice.

Une partie de l'alumine obtenue par le procédé Bayer est fondue pour fabriquer des abrasifs d'alumine très pure destinés au polissage des verres, des aciers spéciaux et d'autres alliages, et à la production des abrasifs de longue durée d'alumine-zirconium et de "Cubitron"[2].

Une grande partie de la bauxite métallique destinée à la production d'aluminium dans le monde est achetée en vertu de contrats à long terme; par conséquent, elle est rarement négociée à la Bourse mondiale de marchandises. Les ventes d'alumine calcinée métallique sont également limitées[3]. Les prix des bauxites utilisables à la production des réfractaires et de diverses qualités d'alumine sont indiqués à l'annexe 1.

En 1986, le prix moyen, par tonne, des matières premières alumifères au Canada était: minerai de bauxite, 37 $; concentrés de bauxite, 159 $; alumine pour la production de métal, 207 $; et, autre alumine préparée, 451 $. Le prix moyen, par tonne, de l'alumine fondue exportée par le Canada, s'élevait à 570 $ par tonne.

Bibliographie

1. McCawley, F.X. and Baumgardner, L.H., "Aluminum", dans le U.S. Bureau of Mines, "Mineral Facts and Problems, 1985 Edition", p. 11.

2. Toon, S.,"Abrasive Minerals, Hard Work in Soft Markets", Industrial Minerals, nº 231, décembre 1986, p. 56.

3. Baumgardner, L.H. and Hough R.A., "Bauxite and Alumina", dans le U.S. Bureau of Mines, "Minerals Yearbook 1985, Vol. 1, Metals and Minerals", p. 107.

PARTIE II. SOURCES DE BAUXITE ET D'ALUMINE REQUISES AU CANADA

Généralités

Il n'y a aucune mine ni source connue de bauxite au Canada.

La Société d'Électrolyse et de Chimie Alcan Limitée, une filiale d'Alcan Aluminium Limitée est le seul producteur d'alumine au Canada. Son usine de Vaudreuil, près de l'usine d'électrolyse de Jonquière, au Québec (Figure 1), possède la capacité de produire à partir de la bauxite importée, environ 1,2 million de tonnes par an d'alumine.

L'usine d'alumine de Vaudreuil fournit environ deux tiers des quelque 1 500 000 t d'alumine nécessaire aux installations de production d'aluminium de l'Alcan situées au Québec. Les importations d'alumine répondent aux autres besoins en alumine des usines métallurgiques de l'Alcan au Québec et de l'usine d'électrolyse à Kitimat (Colombie-Britannique). De l'alumine importée satisfait aussi les besoins de la Société canadienne de métaux Reynolds, limitée, à Baie Comeau (Québec), et ceux de la société Aluminerie de Bécancour Inc. (A.B.I.), à Bécancour (Québec) (voir Tableau 3). Les principales sources d'approvisionnement en bauxite et en alumine pour chacun des grands producteurs d'aluminium au Canada sont indiquées à la page frontispice.

L'usine de Bécancour, inaugurée en 1986, a atteint moins de la moitié de sa production annuelle potentielle cette année-là. Son plein rendement nécessiterait près de 500 000 t d'alumine par année.

Tableau 3

Consommation estimative et provenances d'alumine au Canada, 1986

Société	Besoin	Provenance	
		Intérieur[1]	Importé
	(milliers de tonnes, en nombres arrondis)		
Alcan (usines d'électrolyse du Québec)	1 500	1 000	500
Alcan (Kitimat, C.-B.)	500	-	500
Société canadienne de métaux Reynolds, limitée	500	-	500
Aluminerie de Bécancour Inc.	200	-	200
	2 700	1 000	1 700

[1] C'est-à-dire produit à partir de la bauxite importée à Jonquière, Québec.

-: néant.

La demande en alumine importée augmentera par suite de l'accroissement projeté (50 %) de la capacité de production de l'Aluminerie de Bécancour Inc., qui propulsera l'usine de cette société, à Bécancour, au premier rang des producteurs d'aluminium dans les pays occidentaux. La demande ne devrait pas être touchée par les besoins de la nouvelle usine d'électrolyse de l'Alcan à Laterrière (Figure 1), dont la construction entraînera la fermeture de certaines anciennes installations de l'Alcan au Québec.

Plus des 2 millions de tonnes par an (Mt/a) du minerai de bauxite importé ces dernières années vient du Brésil. Le reste est fourni par la Guinée, la Guyane et la Sierra Leone (Tableau 4).

Les importations canadiennes de plus de 1,7 million de tonnes d'alumine proviennent en grande partie de la Jamaïque, mais l'Australie est sur le point de supplanter ce pays. Le reste vient principalement des États-Unis, du Japon et de l'Allemagne de l'Ouest, qui importent eux-mêmes de la bauxite. Les États-Unis produisent peu de bauxite, alors que le Japon et l'Allemagne de l'Ouest n'en produisent pas du tout. Les 200,000 tonnes par année de concentrés de bauxite importés au Canada servent à produire les 130,000 tonnes d'alumine fondue pour l'utilisation d'abrasifs qui sont annuellement exportés par les producteurs de la région de Niagara Falls. Près de 10,000 tonnes de bauxite et 10,000 tonnes d'alumine sont utilisés chaque année par les fabricants canadiens de produits réfractaires[1].

Les statistiques sur les importations, présentées au Tableau 4, montrent une très grande diversité des sources de bauxite et d'alumine. L'évolution des importations depuis 1964 est indiquée à la Figure 2. Le Canada n'impose aucun tarif douanier sur les importations de bauxite ou d'alumine.

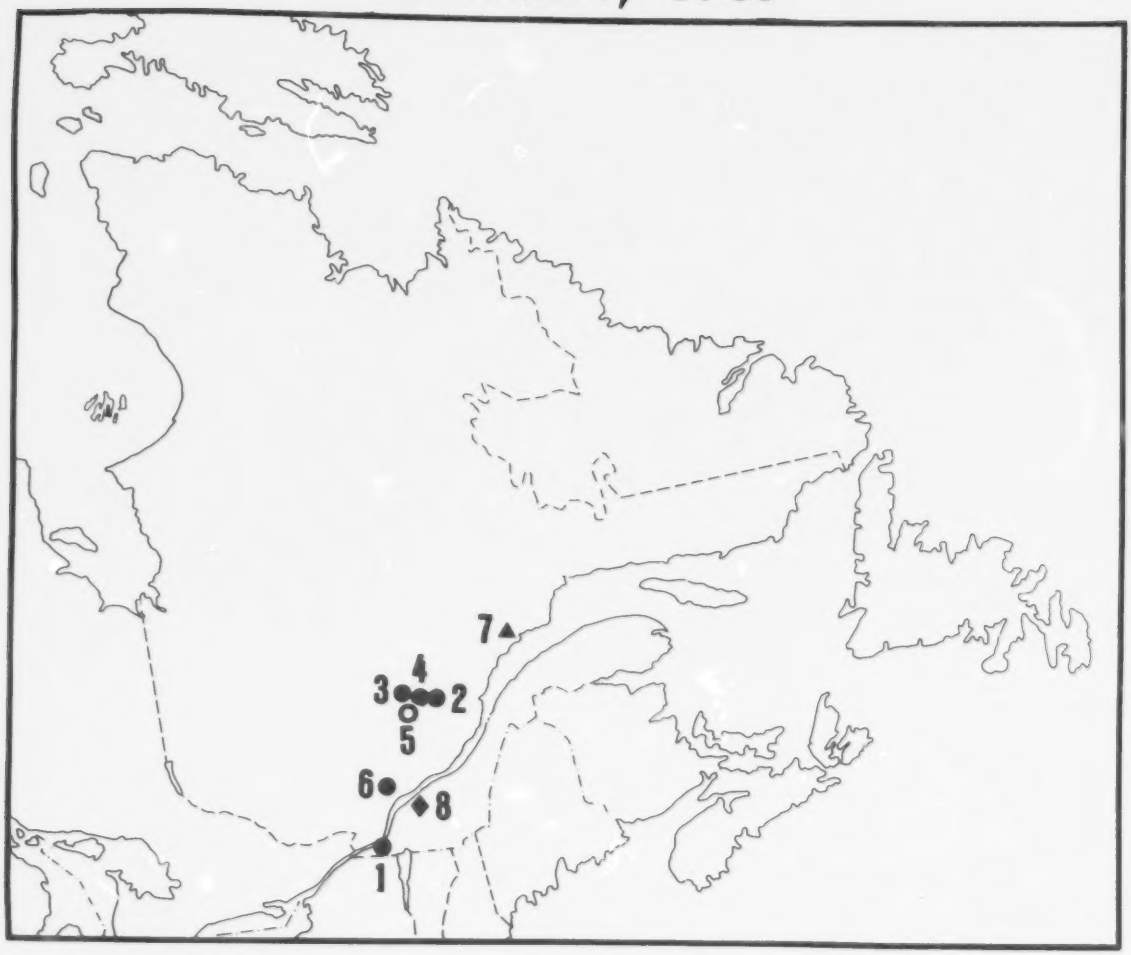
La plupart des importations canadiennes de bauxite en 1986 ont été dirigées vers le Québec. Quelque bauxites destinées à la production d'abrasifs sont expédiées du fleuve Saint-Laurent au port de Thorold (Ontario).

Ces dernières années, les deux tiers des importations canadiennes d'alumine destinées à la fabrication d'aluminium sont entrés au Québec, et l'autre tiers, en Colombie-Britannique, pour l'usine d'aluminium de Kitimat. Sur la côte ouest, les importations ont consisté en alumine provenant du Japon et de l'Australie. 70 % des importations totales d'alumine provenant d'Australie sont allés à la côte ouest, et le reste, soit 30 %, a été expédié au Québec, via le cap de Bonne Expérance.

Les fermetures récentes d'usine d'alumine en Allemagne de l'Ouest et au Japon influeront considérablement sur les sources d'approvisionnement du Canada. Au cours des huit premiers mois de 1987, la part de l'Allemagne de l'Ouest dans les importations canadiennes d'alumine est passée de 8 % en 1986 à 0 %, tandis que celle du Japon a baissé de 18 % à 2 %. Ces baisses ont été contrebalancées par l'accroissement des importations en provenance d'Australie, dont la part a grimpé de 29 à 44 %, et des États-Unis, dont la part est passée de 13 % à 23 %.

FIGURE 1

USINES D'ÉLECTROLYSE DE L'ALUMINIUM À L'EST DU CANADA, 1987



1. BEAUHARNOIS; 2. GRANDE-BAIE; 3. ISLE-MALIGNE; 4. JONQUIÈRE; 5. LATERRIÈRE; 6. SHAWINIGAN; 7. BAIE-COMEAU; 8. BÉCANCOUR.

LÉGENDE

- ● ALCAN – EN EXPLOITATION
- ○ ALCAN – MISE EN VALEUR
- ▲ SOCIÉTÉ CANADIENNE DE MÉTAUX REYNOLDS
- ◆ ALUMINERIE DE BÉCANCOUR

Tableau 4

Importations de bauxite et d'alumine, 1985 et 1986

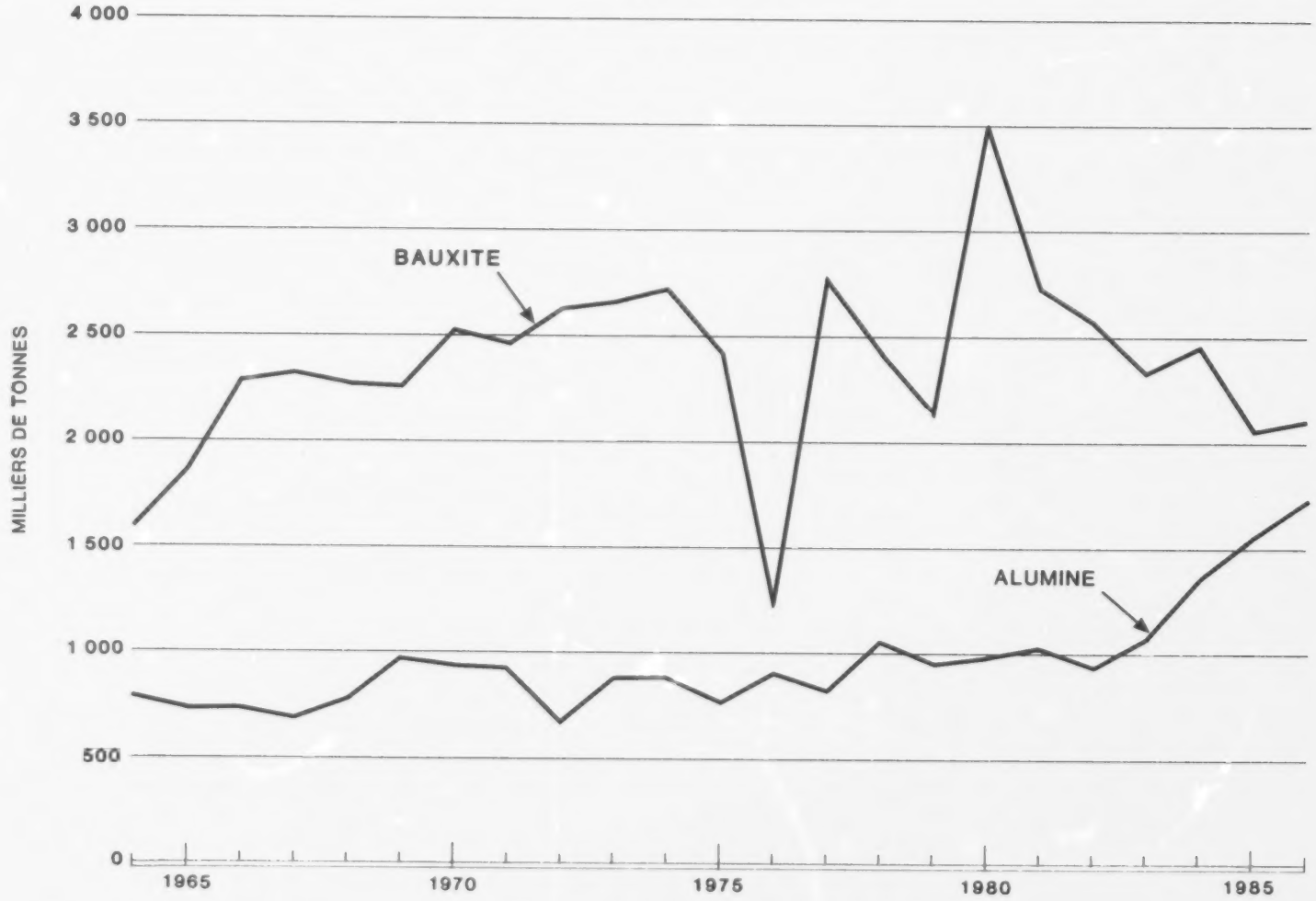
	1985		1986	
	(tonnes)	(milliers de $)	(tonnes)	(milliers de $)
Minerai de bauxite				
Brésil	1 401 921	58 300	1 161 621	43 445
Guinée	55 835	1 730	275 661	8 564
Sierra Leone	-	-	241 064	7 806
Guyane	375 331	11 516	204 177	7 615
Grèce	9 183	473	27 609	1 497
Surinam	11 989	626	21 366	1 384
Chine	-	-	14 500	984
États-Unis	2 220	416	2 327	373
Total	1 838 479	73 061	1 948 325	71 668
Concentrés de bauxite[1]				
États-Unis	41 602	5 777	45 757	8 527
Guinée	49 561	7 708	39 261	6 026
Guyane	41 088	7 277	32 556	5 821
Australie	51 723	6 662	60 358	3 915
Chine	51 496	5 326	16 600	1 919
Brésil	11	4	6	2
Guyane française	200	44	-	-
Total	235 681	33 799	164 538	26 211
Alumine, préparée pour transformation en aluminium				
Jamaïque	651 672	137 333	618 194	124 446
Australie	239 100	44 472	501 903	98 758
Japon	286 495	58 458	268 909	57 162
États-Unis	68 725	19 805	226 698	49 734
Allemagne de l'Ouest	180 720	43 001	52 077	17 253
Venezuela	59 923	6 156	46 012	7 077
France	220	155	167	130
Îles Vierges américaines	25 038	6 329	-	-
Irlande	28 813	5 309	-	-
Total	1 540 707	321 018	1 713 961	354 560
Alumine, préparée, autre				
États-Unis	2 970	1 488	10 004	4 503
Pays-Bas	-	-	36	29
Royaume-Uni	2	1	6	3
Jamaïque	-	-	5	1
Japon	-	-	1	1
Total	2 972	1,489	10 053	4 537
Alumine/oxyde d'aluminium/ naturel				
États-Unis	293	163	548	287
Total	293	163	548	287

Sources: Énergie Mines et Ressources Canada; Statistique Canada.

[1] Incluant la bauxite calcinée ou causticiée, le minerai de bauxite activée et une quantité de bauxite préparée pour transformation en aluminium.

FIGURE 2

IMPORTATIONS DE BAUXITE ET D'ALUMINE AU CANADA
1964-86



SOURCE: STATISTIQUE CANADA

Les niveaux des stocks de bauxite et d'alumine importée, maintenus au Canada varient d'une compagnie à l'autre. Certaines compagnies renouvellent régulièrement leurs stocks existants, tandis que d'autres reçoivent d'importants chargements de matières premières, qu'elles épuisent en quelques mois. Dans son ensemble, l'industrie peut répondre à la demande pendant au moins deux mois. L'intérêt annuel et les coûts d'entreposage pour retenir des stocks additionnels d'alumine et de bauxite, vaudraient près de 4 millions de dollars pour chaque mois en surplus des approvisionnements.

Aspects de la propriété

Dans la rubrique qui suit, la propriété revêt un aspect intéressant quant à la sécurité d'approvisionnement. En ce qui a trait à l'extraction de la bauxite dans les pays occidentaux (voir Tableau A-3, Annexe 2), six compagnies contrôlent la moitié de la capacité de production totale: Aluminum Company of America (Alcoa), 25 %; Alcan, 10 %; Swiss Aluminium Ltd. (Alusuisse), 8 %; Reynolds, 3 %; Pechiney, 3 %; et Kaiser Aluminum & Chemical Corporation (Kaiser), 2 %. En ce qui concerne la production d'alumine (voir Tableau A-5, Annexe 2), six compagnies contrôlent les deux tiers de la capacité de production des pays occidentaux: Alcoa, 27 %; Alcan, 15 %; Reynolds, 7 %, Kaiser, 7 %; Alusuisse, 5 %; et Pechiney, 5 %. La section qui suit, "Revue des liens entre les sociétés", éclaircit les connexions entre les diverses opérations au Canada et leurs liens avec les pays producteurs.

Tour d'horizon des pays exportateurs

L'annexe 2 présente des données sur les réserves mondiales, la production et la capacité d'approvisionnement.

Le Tableau 5 donne un aperçu général des récents niveaux de production de bauxite et d'alumine dans les pays fournisseurs du Canada.

Tableau 5

Production de bauxite et d'alumine dans les principaux pays fournisseurs du Canada, 1985

Pays	Bauxite (milliers de tonnes)	Alumine (milliers de tonnes)
Allemagne de l'Ouest	0	1 677
Australie	32 400	8 792
Brésil	6 650	1 096
États-Unis	674	3 465
Grèce	2 500	402
Guinée	13 100	572
Guyane	1 675	0
Irlande	0	557
Jamaïque	6 239	1 622
Japon	0	1 336
Sierra Leone	1 145	0
Surinam	3 000	1 242
Venezuela	0	1 120

Sources: Baumgardner, L.H. "Bauxite", dans le U.S. Bureau of Mines, "Mineral Commodity Summaries 1987", p. 19; IBA Review, vol. 12 nº 3, janvier-mars 1987, p. 26.

Allemagne de l'Ouest. L'Allemagne de l'Ouest ne produit pas de bauxite. La bauxite importée est transformée en alumine dans deux petites usines situées à Lunen et Schwandorf, qui appartiennent à la société Vereinigte Aluminium-Werke AG (VAW); dans l'usine Stade d'Aluminium Oxid Stade GmbH (dont les co-propriétaires sont la VAW et la Reynolds Metals Company); et dans l'usine Bergheim de la Martinswerk GmbH für Chemische und Metallurgische Produktion, une filiale d'Alusuisse. En septembre 1987, l'Alcoa a annoncé la fermeture de son usine d'alumine de Ludwigshafen, en 1988[9].

Australie. L'Australie est sur le point de supplanter la Jamaïque à titre de principal pays fournisseur d'alumine du Canada. Ce pays alimente en grande partie les installations de l'Alcan en Colombie-Britannique, ainsi que l'usine de l'Aluminerie de Bécancour Inc., à Bécancour (Québec).

La grande expansion des installations de production en Australie a constitué un fait saillant dans l'industrie mondiale de la bauxite et de l'alumine. La production de bauxite, de presque nulle qu'elle était en 1960, a dépassé les 30 millions de tonnes en 1985, tandis que la production d'alumine passait à quelque 9 millions de tonnes. La moyenne d'alumine (Al_2O_3) contenue dans la bauxite extraite en Australie en 1985, était de 31,4 %.

Les mines exploitées dans les chaînons Darling, en Australie occidentale, ont fourni les deux cinquièmes de la production nationale de bauxite, les dépôts de Weipa (Queensland), à peu près la même chose, et la mine Gove (Territoire du Nord), un peu plus du cinquième. L'emplacement des installations de production en Australie est indiqué à la Figure 3; une analyse détaillée de ces opérations est donnée dans les tableaux A-3 et A-5 de l'Annexe.

Aucun chiffre n'est publié sur les exportations australiennes de bauxite, qui se limitent au minerai extrait à Weipa et à Gove, mais à peu près le sixième de la bauxite produite serait exporté. Weipa constitue une source mondiale majeure de bauxite calcinée destinée à la production d'abrasifs.

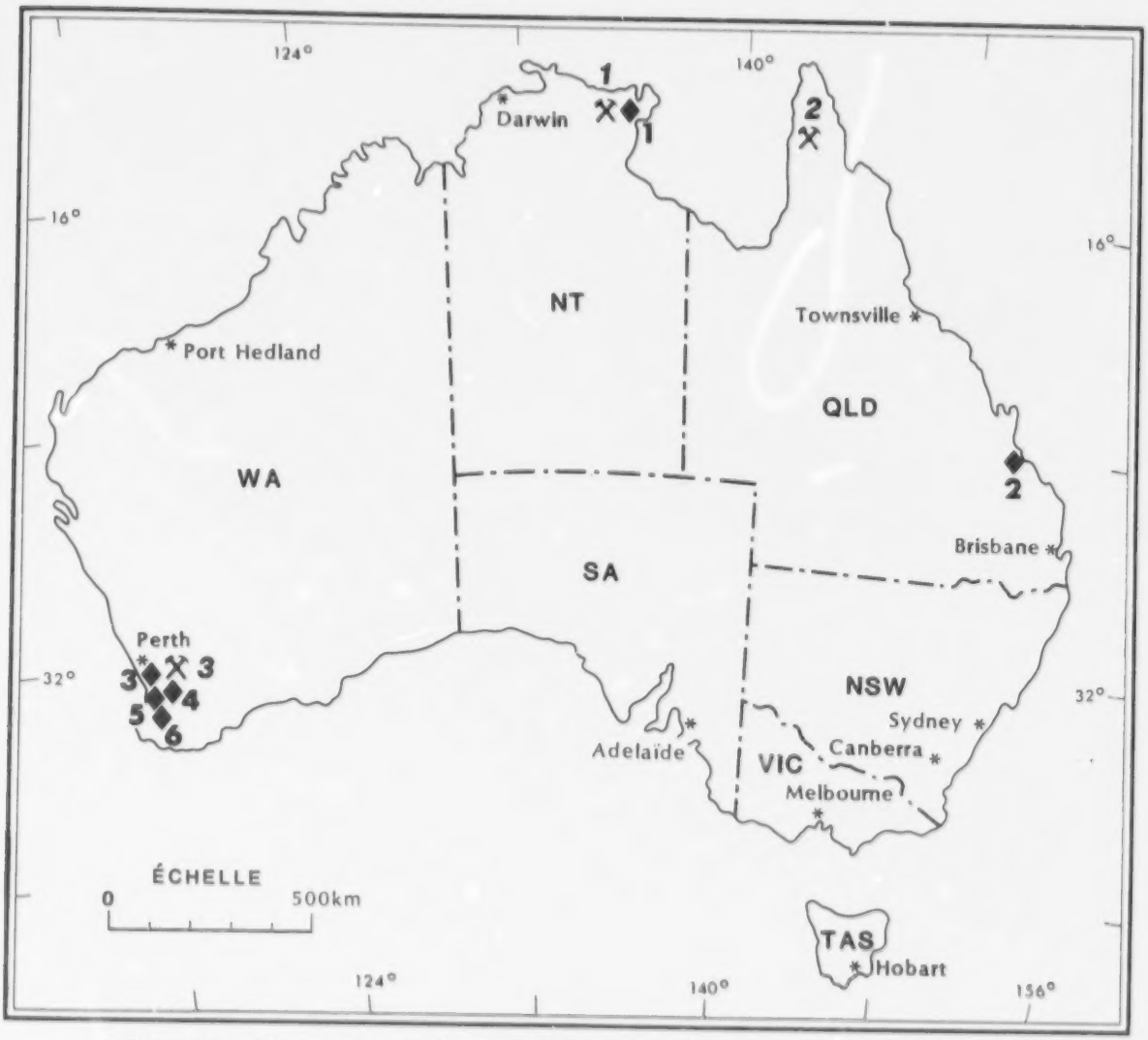
Des 8,8 millions de tonnes d'alumine produite dans les affineries d'alumine australiennes en 1985, 81,5 % ont été exportés outre-mer, et 6 %, au Canada.

Brésil. Le Brésil est le plus grand fournisseur de bauxite brute du Canada. La bauxite est extraite de la mine de la société Mineraçao Rio do Norte S.A. (MRN), d'une capacité de 4,5 millions de tonnes, située à Trombetas, Para. Cette compagnie, dans laquelle l'Alcan détient 24 % des parts, est contrôlée par la société à capital public Companhia Vale do Rio Doce (CVRD).

Trois autres sociétés minières, implantées à Poços de Caldas dans la région de Minas Gerais, alimentent le marché intérieur brésilien en bauxite. Chacune est liée à une installation de production d'alumine.

FIGURE 3

MINES DE BAUXITE ET AFFINERIES D'ALUMINE EN AUSTRALIE, EN 1987



NSW=Nouvelle-Galles du Sud; NT=Territoire du Nord; QLD=Queensland; SA=Australie-Méridionale; TAS=Tasmanie; VIC=Victoria; WA=Australie-Occidentale.

⚒ MINES DE BAUXITE: *1* GOVE, NT; *2* WEIPA, QLD; *3* MONTAGNES DARLING, WA.

◆ AFFINERIES D'ALUMINE: 1 GOVE, NT; 2 GLADSTONE, QLD; 3 KWINANA, WA; 4 PINJARRA, WA; 5 WAGERUP, WA; 6 WORSLEY, WA.

Une autre usine d'alumine, Aluminio do Maranhao S.A. (Alumar), située à Sao Luis, s'approvisionne en bauxite auprès de la MRN.

Le projet de construction d'une usine d'alumine de 800 000 t/a, par Alumina do Norte do Brasil S.A. (Alunorte), à Barcarenal (Para), est encore à l'étude.

Chine. L'industrie chinoise de l'aluminium est en voie d'expansion. Les marchés d'exportation des bauxites destinées à l'industrie des réfractaires et celle des abrasifs sont également en développement. Les bauxites pour la fabrication d'abrasifs sont extraites dans les provinces de Henan et de Shaanxi, puis exportées via le port de Qingdao.

États-Unis. En 1986, quatre sociétés seulement ont extrait de la bauxite aux États-Unis, pays qui fournissait 7 % de la bauxite produite dans le monde en 1960. La quasi-totalité des quelque 500 000 t de minerai de bauxite (moins de 1 % de la production mondiale) a été utilisée pour fabriquer des matériaux non métalliques, tels que des abrasifs, des réfractaires, des produits chimiques, et de l'alumine spéciale. L'Alcoa a extrait de la bauxite à Bauxite (Arkansas). Une partie du minerai a été transformée sur place en alumine, et une autre partie a été calcinée pour servir à la fabrication d'abrasifs. La société American Cyanamid Company a extrait de la bauxite à Bryant (Arkansas) pour obtenir du sulfate d'aluminium. La société Harbison-Walker Inc., une division de Dresser Industries, Inc., a extrait de la bauxite à Eufaula (Alabama), qui a été calcinée pour obtenir un matériau réfractaire. La société Mullite Co. of America a extrait du minerai dans les comtés de Henry (Alabama) et de Sumter (Georgie), en vue de le calciner pour obtenir de la bauxite réfractaire[7].

La production d'alumine a évolué de façon similaire à celle de la bauxite. Des neuf usines d'alumine exploitées en 1982, quatre seulement étaient encore en activité à la fin de l année 1985: les installations de l'Alcoa, à Bauxite (Arkansas) et à Point Comfort (Texas); l'usine de Kaiser, à Gramercy (Louisiane); et l'usine de la Reynolds Metals Company, à Corpus Christi (Texas).

L'usine de la Martin Marietta Corporation, à St. Croix, dans les îles Vierges américaines, d'où le Canada a importé de l'alumine en 1985, a définitivement fermé ses portes en mai de la même année.

Comme l'indique le Tableau 6, les États-Unis maintiennent des stocks de bauxites à types métalliques et réfractaires.

Grèce. Depuis longtemps, la Grèce est l'un des plus grands producteurs européens de bauxite. L'industrie de l'aluminium regroupe plusieurs petits producteurs, dont Aluminium de Grèce, S.A., une filiale à 60 % de Péchiney, qui exploite une mine, une usine d'alumine et une usine d'électrolyse, à Distomon. En avril 1987, la Grèce et l'U.R.S.S. ont signé une entente portant sur la construction d'une affinerie d'alumine, d'une capacité de 600 000 t/a, près de Delphes[2], dans le golfe de Corinthe.

Tableau 6

Situation des stocks de réserves de bauxite des États-Unis au 30 septembre 1986

Matière		Objectif	Inventaire total
		(milliers de tonnes sèches métriques)	
Bauxite	- qualité métal:		
	type "Jamaïque"	21 337	12 658
	type "Surinam"	6 198	5 385
Bauxite	- qualité abrasif	1 016	-
Bauxite	- qualité réfractaire, calcinée	1 422	279

Source: Baumgardner, L.H. "Bauxite" dans le U.S. Bureau of Mines, "Mineral Commodity Summaries 1987", p. 18.

Guinée. La mine de Sangarédi, exploitée par la Compagnie des Bauxites de Guinée dans la région de Boké, dans le nord-ouest du pays, est l'une des plus importantes mines de bauxite dans le monde, avec une production de 30 000 t/j de minerai. La compagnie produit également de la bauxite abrasive calcinée, dans une usine située dans le port de Kamsar, d'où la bauxite est expédiée outre-mer. L'Alcan, qui détient des intérêts dans la société Halco (Mining) Inc., possède près de 14 % des parts dans cette usine.

La bauxite destinée à l'U.R.S.S. et à d'autres pays d'Europe orientale provient de la mine Débélé, des Offices de Bauxites de Kindia. Elle est aussi extraite à Kimbo, par la Société d'Économie Mixte de Friguia (Friguia), dans laquelle le groupe Péchiney détient 18,6 % des parts. Friguia exploite une usine d'alumine à Kimbo.

Guyane. La société à capital public Guyana Mining Entreprise, Ltd. (Guymine) produit des bauxites de qualité métallurgique et non-métallurgique, ainsi que de la bauxite calcinée pour la fabrication de produits réfractaires et d'abrasifs, qui sont extraites de mines et traitées aux usines des districts de Linden et de Berbice.

La bauxite à type réfractaire extraite de la mine East Montgomery, est acheminée par chemin de fer jusqu'à l'usine de séchage et de calcination de Linden, sur la rivière Demerara. Le minerai extrait des mines de Kwakwani est expédié par péniche, sur la rivière Berbice, et traité dans l'usine d'Everton, à l'embouchure de la rivière.

Les produits séchés et calcinés sont expédiés de la Guyane par bateaux à faible tirant d'eau, jusqu'à un point de stockage et de distribution, dans le port de Chaguaramas (Trinidad), où peuvent mouiller des navires de haute mer[3].

Irlande. Depuis 1982, la société Aughinish Alumina Limited, qui appartient à l'Alcan (65 %) et à la Billiton International Metals B.V. (35 %), transforme la bauxite importée en alumine dans son usine de l'île Aughinish, dans l'estuaire de la Shannon, dans l'ouest de l'Irlande.

Jamaïque. La Jamaïque, où l'Alcan a longtemps investi et continue d'investir de gros capitaux dans les mines de bauxite et les installations de production d'alumine, est actuellement supplantée par l'Australie, au premier rang des pays fournisseurs d'alumine du Canada.

Le gouvernement de la Jamaïque détient des intérêts dans toutes les installations de production de bauxite et d'alumine du pays.

La réouverture, à Nain, de l'affinerie d'alumine de la société Alumina Partners of Jamaica (Alpart), fermée en août 1985, et qui a une capacité de 1,2 million de t/a, fait toujours l'objet de discussions entre les co-propriétaires, Kaiser et Reynolds, et le gouvernement de la Jamaïque[4].

Japon. Le Japon n'exploite pas de bauxite. Plusieurs compagnies, en particulier la Nippon Light Metal Company Ltd., dont 50 % des actions appartiennent à l'Alcan, importent de la bauxite pour produire de l'alumine.

En 1985, l'industrie japonaise de l'aluminium a été touchée par plusieurs réductions d'effectifs, et la Nippon Light Metal Company, Ltd. a annoncé la fermeture de son usine d'alumine de Tomakomai, qui représentait quelque 55 % de sa capacité de production.

Sierra Leone. La Sierra Leone Ore & Metal Company Ltd. (SIEROMCO), une filiale d'Alusuisse (Suisse), extrait et exporte du minerai de bauxite provenant du gisement de Port Loko, à Mokanji.

Surinam. Au Surinam, deux sociétés minières extraient de la bauxite: la NV Billiton Maatschappij Suriname, à Onverdacht, et la Suriname Aluminum Company (Suralco), dont les activités centrées à Paranam, comprennent des mines, une usine d'alumine et une usine d'électrolyse. En novembre 1986, l'instabilité politique du pays a entraîné la fermeture de la mine Moengo de la Suralco. Deux mois plus tard, par suite de pannes d'électricité, les activités ont été interrompues à l'usine d'électrolyse de Paranam. L'importation de minerai a permis d'alimenter l'usine d'alumine[5].

Jusqu'au début des années 1980, le Surinam fut le troisième producteur mondial de bauxite à type réfractaire, après la Chine et la Guyane. Le four de calcination de la Suralco est fermé depuis 1982, et l'usine Aalborg Portland Cement-Fabrik A/S (Danemark), où était calcinée la bauxite à type réfractaire de la Billiton, a cessé d'utiliser ce matériau, à peu près à la même époque[6].

Venezuela. Au début des années 1980, la société à capital public Corporacion Venezolana de Guayana (CVG), conjointement avec Alusuisse, a mis en exploitation un important gisement de bauxite, à Sierra Los

Pijiguanos, dans l'état de Bolivar, ainsi qu'une usine d'alumine de 1 000 000 t/a, à Cuidad Guyana, sur la rivière Orinoco.

Les plans actuels prévoient plus que le triplement de la production vénézuélienne d'aluminium (1 400 000 t/a) d'ici 1994, le doublement de la capacité de production d'alumine de la société Interamericana de Alumina CA (Interalumina), à Ciudad Guyana, ainsi que la construction possible d'une nouvelle usine d'alumine, à Los Pijiguanos[8].

Revue des liens entre les sociétés

Les Figures 4 et 5 donnent un bref aperçu des connexions entre les installations au Canada et les liens des sociétés des pays fournisseurs.

Certains intérêts que détiennent les compagnies dans les mines de bauxite à l'étranger influent sur la sécurité d'approvisionnement du Canada. Au Brésil, le principal pays fournisseur de bauxite du Canada, l'Alcan (Figure 4) possède 24 % des actions participantes de la société Mineraçao Rio de Norte S.A., qui extrait la bauxite d'un immense gisement situé le long de la rivière Trombetas, et détient des contrats d'achats annuels, jusqu'en 1999. Des changements vers l'usine d'alumine de l'Alcan, à Jonquière, ont débuté en août 1979. La capacité de production a grimpé de 3,3 Mt/a en 1980 à 4,5 Mt/a en 1985, et l'usine de Jonquière a reçu quelque 1,2 million de tonnes cette année-là.

Toutefois, le Brésil n'exporte pas toute la bauxite extraite sur son territoire; beaucoup de bauxite est expédiée à une affinerie d'alumine nippo-brésilienne (Alunorte), qui alimente des usines d'électrolyse du pays.

En Guinée, l'Alcan détient des actions participantes dans la Compagnie des Bauxites de Guinée, qui appartient conjointement au gouvernement guinéen et à plusieurs sociétés privées. Cette compagnie exploite l'immense mine de bauxite de Sangarédi, dans le gisement de Boké. Depuis 1973, l'Alcan achète une partie du minerai extrait de la mine, en vertu de contrats valides jusqu'en 1995; à l'heure actuelle, la Guinée occupe le deuxième rang des pays fournisseurs de bauxite du Canada. Les réserves guinéennes représentent plus du quart des réserves mondiales totales.

La Guyane, premier fournisseur de bauxite du Canada au début des années 70, a glissé au deuxième rang, derrière la Guinée, en 1979, et au quatrième rang, en 1986. L'Alcan possédait et exploitait des gisements de bauxite en Guyane, mais ceux-ci ont été nationalisés en 1971 et sont maintenant exploités par la société Guyana Mining Enterprise, Ltd. (Guymine). Les réserves de bauxite de la Guyane ne représentent que 3 % des réserves mondiales estimées; selon les prévisions, la Guyane ne gagnera pas d'importance à titre de fournisseur de bauxite du Canada. Toutefois, la bauxite produite dans ce pays constitue une source de matériau de type réfractaire à basse teneur en fer, dont une bonne part est également utilisée par les industries des abrasifs et des produits chimiques.

FIGURE 4

GROUPE ALCAN - RÉSEAUX D'APPROVISIONNEMENT DE BAUXITE ET D'ALUMINE DES SOCIÉTÉS PRODUCTRICES, 1987

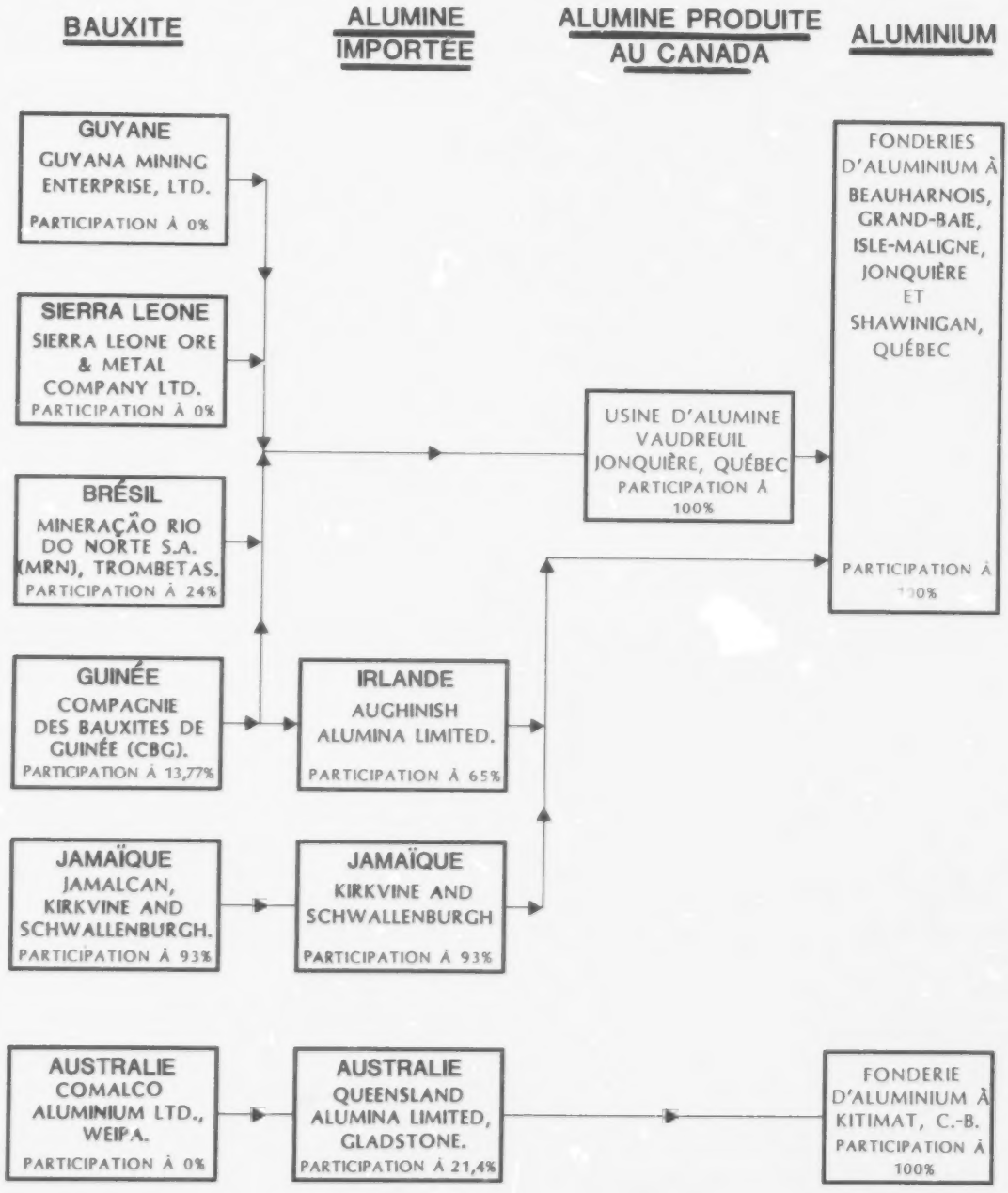
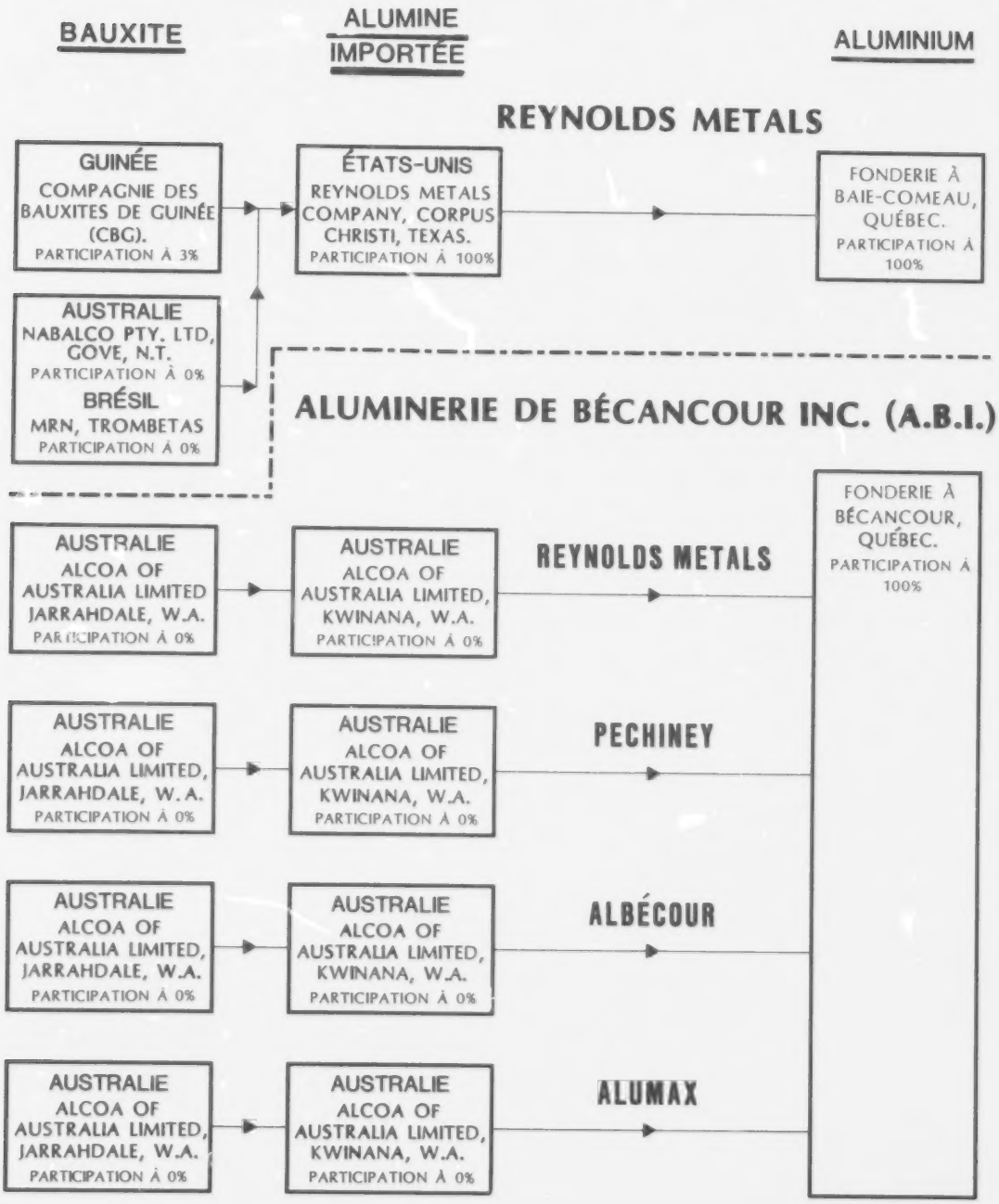


FIGURE 5

GROUPES REYNOLDS ET ABI - RÉSEAUX D'APPROVISIONNEMENT DE BAUXITE ET D'ALUMINE DES SOCIÉTÉS PRODUCTRICES, 1987



La société Jamalcan, une filiale jamaïcaine de l'Alcan, extrait de la bauxite qui est transformée en alumine près de la mine. La Jamaïque pourrait approvisionner les affineries canadiennes en bauxite, mais le gouvernement jamaïcain favorise la transformation locale de la bauxite en alumine.

Le groupe Reynolds (Figure 5) qui possède une usine d'électrolyse dans l'est du Canada, est propriétaire partiel de la mine de bauxite de Worsley Alumina Pty. Ltd., à Mount Saddleback, en Australie. La bauxite est transformée localement en alumine, qui est expédiée par chemin de fer jusqu'au port de Bunbury, juste au sud de Perth, d'où elle est exportée. Pour des raisons sociales, les importations canadiennes d'alumine de la Reynolds proviennent de l'Alcoa of Australia, Limited.

Alcan et Pechiney possèdent respectivement 21,4 % et 20 % des actions de la société Queensland Alumina Limited (QAL) de Gladstone (Queensland), en Australie, et peuvent transformer la bauxite, extraite ailleurs, à Gladstone, au prorata de leur participation dans la compagnie. Une proportion importante (60 % en 1983) de la bauxite extraite de la mine de la Comalco Aluminium Ltd., à Weipa, sur la côte ouest du cap d'York (Queensland), est enrichie et expédiée à l'usine d'alumine de la QAL. Une partie de l'alumine produite par QAL est expédiée à l'usine d'électrolyse avoisinante, à Boyne Island, et aux usines d'électrolyse de Kurri et Tomago (Nouvelles Galles du Sud), et à Bell Bay (Tasmanie); le reste est exporté.

Les approvisionnements en alumine du Canada à partir de l'étranger, ainsi que les approvisionnements en bauxite pour la production intérieure d'alumine par le procédé Bayer, pourraient être touchés dans le futur par des contraintes autres que celles que l'on retrouve dans les ententes commerciales normales. Il ne fait aucun doute que les pays producteurs de bauxite favoriseront la production d'alumine et d'aluminium dans le pays d'origine, lorsque cela est possible. Les pressions de ce type se feront sentir davantage sur la production d'alumine que sur la production d'aluminium par électrolyse qui requiert plus d'énergie. Toutefois, la disponibilité au Canada d'énergie hydro-électrique à coût modéré dans des régions éloignées d'autres marchés, continuera d'offrir un stimulus important à l'industrie électrolytique.

Association internationale de la bauxite (IBA)

Formée en 1974, l'Association internationale de la bauxite (IBA) comprend actuellement dix membres: l'Australie, le Ghana, la Guinée, la Guyane, l'Inde, l'Indonésie, la Jamaïque, la Sierra Leone, le Surinam et la Yougoslavie, ce qui représente 70 % de la production mondiale de bauxite.

Dans plusieurs de ces pays, la bauxite et l'alumine sont les seules sources importantes de revenus. Ainsi, en 1986, les ventes de ces deux matières premières ont représenté respectivement 93, 60, 51 et 40 % des recettes d'exportation de la Guinée, du Surinam, de la Jamaïque et de la Guyane[10]. Le voeu exprimé par les pays membres d'accroître le revenu provenant de leurs ressources naturelles a donné une impulsion initiale à l'IBA. En 1974, l'imposition, par le gouvernement jamaïcain, d'une taxe sur la bauxite, basée sur la teneur en aluminium du minerai et un certain

pourcentage (environ 7½ %) du prix moyen du lingot d'aluminium, en dollars américains, fut peut-être la décision la plus ambitieuse à cet égard. Toutefois, l'absence d'une entente globale connexe, vis-à-vis cette taxe, la récession, la stabilisation de la demande, la concurrence entre les producteurs bien établis et les nouveaux producteurs (comme le Brésil), ainsi que la recherche de revenus immédiats par maints pays producteurs ont réduit la capacité de ce groupe à contrôler la production.

L'IBA a pour objectif, entre autres, de promouvoir la construction d'affineries d'alumine et d'usines d'électrolyse à proximité des ressources bauxitiques, une politique non restreinte aux membres de l'Association. Toutefois, les usines d'électrolyse requièrent d'énormes quantités d'énergie électrique, à assez bas prix, ce qui n'est pas à la portée de tous les pays.

Bibliographie

1. Prud'homme, M., "Profil du marché des minéraux industriels dans les secteurs manufacturiers au Canada: l'industrie des produits réfractaires", Secteur de la politique minérale, Rapport interne, (MRI 86/4), p. 4.

2. Staff, "Aluminum", Metals Week, vol. 58, n° 15, p. 2.

3. Hinds, S., "Guyana Calcined Bauxite - A Profile of Recent Developments," Industrial Minerals, n° 199, avril 1984, p. 59-61.

4. Staff, "Jamaica Alumina Output Hikes Hit Snags; Richco Waits in Wings to Expand its Take", Metals Week, vol. 58, n° 12, 23 mars, 1987, p. 1.

5. Staff, "Power Outage Forces Suralco Smelter Closure", Metals Week, vol. 58, n° 5, 2 février, 1987, p. 8.

6. Harben, P., et Dickson T., "Non-Metallurgical Grades - Bauxite's Crème de la Crème", Industrial Minerals, n° 192, septembre 1983, p. 36.

7. Baumgardner, L.H. et Hough R.A., "Bauxite and Alumina", U.S. Bureau of Mines, "Minerals Yearbook, 1985, Volume 1, Metals and Minerals", p. 164.

8. Staff, "Venezuela's 2-million-mt Ambitions", Metals Week, vol. 58, n° 42, p. 9.

9. Staff, "Aluminum", Metals Week, vol. 58, n° 37, 14 septembre, 1987, p. 8.

10. Staff, "Commodities Softly Echo the Sound of the Crash", The Economist, vol. 305, n° 7522, p. 59.

PARTIE III. POTENTIEL DE PRODUCTION INTÉRIEURE D'ALUMINE À PARTIR DE SOURCES ROCHEUSES

Aucun gisement connu de bauxite au Canada n'est commercialement exploitable. Compte tenu de l'histoire géologique du Canada, il est peu probable qu'un tel gisement soit jamais découvert. Donc, la solution de rechange la plus évidente à l'importation de bauxite et d'alumine pour alimenter les usines d'électrolyse canadiennes consisterait à exploiter des sources d'alumine autres que la bauxite. La plupart des producteurs mondiaux d'aluminium ont analysé ces autres sources.

L'expérience acquise permet de conclure que plusieurs procédés d'extraction de l'alumine à partir de sources non bauxitiques sont techniquement réalisables et pourraient, dans certains cas, être utilisés par l'industrie. À l'heure actuelle, ces procédés ne peuvent rivaliser avec ceux axés sur l'utilisation de la bauxite. Ils ont été mis au point en Union Soviétique, à une époque où le gouvernement favorisait la production d'alumine à partir de sources internes plutôt que de bauxite ou d'alumine importée, et où la fabrication de co-produits permettait de rentabiliser davantage ces opérations. Dans les pays occidentaux, l'extraction d'alumine à partir de sources non bauxitiques n'a généralement pas franchi l'étape des usines-pilotes et des usines-témoins.

Il existe plusieurs sources potentielles d'alumine, autres que la bauxite, au Canada: les anorthosites, les matériaux associés au charbon, les argiles, et les syénites néphéliniques.

Parmi celles-ci, les anorthosites sont les plus abondantes; de vastes gisements se trouvent au Québec et au Labrador. D'importantes quantités d'argiles et de schistes riches en alumine sont associées aux filons houillers, notamment en Colombie-Britannique, et sont détachés sous la forme de résidus houillers; cette solution est probablement la plus intéressante, en partie parce que le charbon contenu dans ces résidus fournit de l'énergie nécessaire au traitement. Les charbons brulés dans les centrales électriques en Alberta et en Ontario produisent beaucoup de cendres volantes riches en alumine. L'argile de meilleure qualité pour la production d'alumine se trouve dans le sud de la Saskatchewan. La syénite néphélinique, utilisée pour la première fois par l'U.R.S.S. comme source d'alumine, est le substitut le moins intéressant pour le Canada.

L'Annexe 3 donne des détails sur les sources d'alumine non bauxitiques au Canada, ainsi que sur les méthodes de traitement, et une bibliographie étendue.

Le traitement des sources d'alumine non bauxitiques nécessite un apport en énergie beaucoup plus important que le procédé Bayer utilisé dans la fabrication d'alumine à partir de la bauxite. La rentabilité des sources canadiennes d'alumine dépend du coût associé à la production d'alumine à partir de la bauxite par le procédé Bayer, et du prix de la bauxite livrée au Canada. De toute évidence, la récupération de l'alumine à partir de matières premières non bauxitiques sera toujours plus coûteuse qu'avec le procédé Bayer. Le prix de la bauxite ou les contraintes

d'approvisionnement sont donc les facteurs importants qui régissent la rentabilité économique de la production d'alumine à partir d'autres matières premières. À l'heure actuelle, la bauxite demeure la matière première de prédilection, tant au point de vue technique qu'économique, pour produire de l'alumine, soit pour la réduction électrolytique pour obtenir de l'aluminium métallique, soit pour la fabrication d'abrasifs, de réfractaires ou de produits chimiques.

Il faudrait jusqu'à dix ans avant de produire de l'alumine à partir de sources canadiennes afin de permettre de délimiter les sources de matières premières, d'améliorer les procédés de fabrication, d'exploiter des usines-pilotes, de mobiliser des capitaux, d'obtenir les autorisations du gouvernement, de mettre en valeur les mines, et de concevoir, construire et mettre en service les usines. Par conséquent, toute décision visant à obtenir une fraction importante de l'alumine requise par le Canada, à partir de sources canadiennes, devrait être prise bien des années à l'avance. Il est recommandé de surveiller périodiquement les conditions qui, dans les dix prochaines années, pourraient entraîner une hausse telle du prix de la bauxite qu'il serait économiquement interessant d'exploiter d'autres sources d'alumine.

PARTIE IV. RÉSUMÉ ET CONCLUSIONS

L'aluminium est obtenu de l'alumine (oxyde d'aluminium), dont le minerai de bauxite est la source commune la plus utilisée. En gros, 4 tonnes de bauxite fournit 2 tonnes d'alumine, qui à son tour fournit 1 tonne d'aluminium. L'industrie canadienne de l'aluminium a produit quelque 1,4 million de tonnes (Mt) d'aluminium en 1986, valant près de 2 200 millions de dollars, dont 85 % a été exporté principalement aux États-Unis.

Au Canada, trois sociétés produisent de l'aluminium: la Société d'Électrolyse et de Chimie Alcan Limitée, la Société canadienne de métaux Reynolds, limitée, et l'Aluminerie de Bécancour Inc. (A.B.I.). L'industrie repose entièrement sur la bauxite et l'alumine importées car le Canada n'a pas de sources de bauxite, et les autres possibles sources domestiques n'offrent pas de concurrence à la bauxite.

En ce moment, les importations sont de près de 2 Mt de minerai de bauxite et de 1,7 Mt d'alumine par année. A Jonquière (Québec), l'Alcan obtient 1 Mt d'alumine à partir de 2 Mt du minerai de bauxite, ce qui correspond à la moitié des besoins totaux en alumine de cette société. En chiffres arrondis, des 1,7 Mt d'alumine importé en 1986, 0,5 Mt se sont rendus aux usines d'électrolyse québécoises de l'Alcan, 0,5 Mt à l'usine d'électrolyse Kitimat de l'Alcan (C.-B.), un autre 0,5 Mt à la société Reynolds et 0,2 Mt à l'A.B.I.

Le Brésil est le plus grand fournisseur du Canada en **minerai de bauxite**, avec près de 60 % des importations canadiennes en 1986, suivi par la Guinée, avec 14 %. L'Alcan, le plus gros producteur d'aluminium au Canada, a investi dans les mines de ces deux pays. Le reste des besoins en bauxite vient de la Sierra Leone, la Guyane et, en plus petites quantités, de la Grèce, du Surinam, et de la Chine.

En ce qui a trait aux importations **d'alumine**, la Jamaïque est le plus gros fournisseur du Canada (près de 40 %), mais l'Australie est près de supplanter ce pays. La majeure partie du reste vient du Japon, des États-Unis, de l'Allemagne de l'Ouest où l'alumine est essentiellement faite à partir de la bauxite que ces pays ont importé. L'Alcan possède de gros intérêts dans les mines et les installations de production d'alumine en Jamaïque, lesquelles sont exploitées conjointement avec le gouvernement jamaïcain. L'Alcan, la société Reynolds et l'A.B.I. ont chacune des parts directs ou indirects en Australie sur les opérations de la bauxite et de l'alumine.

Quant à la sécurité d'approvisionnement, et compte tenu du nombre assez élevé de producteurs de bauxite et du nombre encore plus grand de producteurs d'alumine dans le monde, il y a peu de risques que les approvisionnements canadiens soient durement touchés, s'il advenait qu'ils soient interrompus à partir d'un des pays producteurs. Si le besoin se fait ressentir, la bauxite et l'alumine pourraient être recherchées dans d'autres pays, aussi bien que dans d'autres sociétés, dans nos principaux pays fournisseurs, tels que l'Australie, le Brésil et la Guinée.

Néanmoins, étant donné que presque toute la bauxite et l'alumine importées par le Canada sont expédiées par bateau, toute interruption de la circulation libre des navires dans les eaux hauturières ou, plus particulièrement, dans les eaux côtières canadiennes, aurait de graves conséquences pour l'industrie de l'aluminium au pays, si cette interruption avait une durée d'au-delà des limites des stocks de réserves disponibles à l'industrie d'aluminium canadienne dont la norme est de l'ordre de deux mois.

Dans les années 70, les consommateurs ont redouté l'instauration possible d'un cartel de producteurs internationaux de la bauxite. Toutefois, des évènements ultérieurs, particulièrement l'essor de la production de bauxite en Australie, en Guinée et au Brésil, ont fortement compromis la réalisation d'un tel projet.

Même s'il n'a pas de ressources en bauxite, le Canada possède plusieurs matières premières aluminifères, notamment l'anorthosite, la syénite néphélinique, les argiles et les résidus houillers. La technologie nécessaire pour la récupération de l'alumine de ces autres sources de matériaux, est disponible, mais on ne pourrait que la récupérer à prix vraiment élevé. Toutefois, vu la nécessité d'effectuer d'autres essais, de creuser des mines et de construire d'autres usines, il faudra vraisemblablement attendre au moins une dizaine d'années avant d'exploiter ces matières premières, même s'il serait possible de réduire les coûts à des niveaux compétitifs.

Au Canada, l'utilisation la plus répandue de la bauxite et de l'alumine est dans la fabrication d'aluminium, quelque bauxite traitée d'une façon spéciale est employée dans la production d'alumine fondue pour la production des abrasifs, et on se sert d'une partie de la bauxite et de l'alumine pour fabriquer des produits réfractaires. L'industrie canadienne d'alumine fondue, localisée dans la région ontarienne de Niagara Falls, fournit des grains d'alumine à l'état brut, valant près de 70 millions de dollars, donc trois quarts des besoins de l'industrie nord-américaine des abrasifs pour ce matériel fait de 200 000 tonnes de concentrés de bauxite de qualité spéciale importés chaque année en Ontario. La bauxite de qualité abrasive est bien disponible à partir des producteurs de la Chine, la Guinée, l'Australie et du Sud des États-Unis. Les fabricants canadiens de produits réfractaires n'ont besoin que de 10 000 t/a de bauxite et de 10 000 t/a d'alumine.

En conclusion, il semble que la question des approvisionnements en bauxite et en alumine suffisantes au Canada ne posera aucun problème majeur, tant et aussi longtemps que le Canada aura l'assurance que les navires à destination des ports canadiens pourront circuler librement dans les eaux hauturières et côtières.

ANNEXE 1

QUELQUES RÉCENTS PRIX DE LA BAUXITE ET DE L'ALUMINE

	(équivalent en $ CAN des prix/tonne)
Bauxite, qualité abrasive, minimum 86 % Al_2O_3, CAF	124-143
Bauxite, qualité réfractaire, minimum 86 % Al_2O_3, CAF	243-247
Chine, qualité I typiquement 85 % Al_2O_3, CAF	182-186
Qualité II typiquement 80 % Al_2O_3, CAF	165-169
Bauxite de la Guyane, qualité réfractaire, f. à b. wagon pour le transport de rails - Baltimore ou chaland Golfe du Mexique, États-Unis	216
Alumine, activée granules, sacs de 100 lb, 40 000 lb minimum charges de wagons, usines	1175
Alumine, calcinée, 98½ %-99½ % Al_2O_3 sacs inclus lots de 20 tonnes, livrés au Royaume-Uni	455-474
Alumine, calcinée, contenu sodique moyen, lots de 50 tonnes	520-650
Alumine, hydratée blanche, en vrac, 40 000 lb minimum, charges de wagon, usines	272
Alumine, hydratée blanche, sacs de 100 lb, 40 000 lb minimum, charges de wagon, usines	321

Sources: "Chemical Marketing Reporter", vol. 232, n° 16, 16 octobre 1987, p. 52 et "Industrial Minerals", n° 240, septembre 1987, p. 110; taux de change: "The Globe and Mail", 17 septembre 1987, p. B-20, 17 octobre 1987, p. B-12.

CAF: coût, assurance et fret; f. à b.: franco à bord.

ANNEXE 2. RÉSERVES ET PRODUCTION MONDIALES

Réserves mondiales

Les réserves mondiales de bauxite, en janvier 1983, sont indiquées au Tableau A-1. Ces chiffres représentent présumément les réserves exploitables assez bien connues. D'après ce tableau, la Guinée, l'Australie, le Brésil et la Jamaïque possèdent ensemble près de 70 % des réserves mondiales établies.

Tableau A-1

Réserves mondiales

	Millions de tonnes	% du total rapporté
Guinée	5 600	27,0
Australie	4 440	21,0
Brésil	2 250	11,0
Jamaïque	2 000	10,0
Inde	1 000	5,0
Cameroun	800	4,0
Indonésie	750	4,0
Guyane	700	3,0
Grèce	600	3,0
Surinam	575	3,0
Ghana	450	2,0
Yougoslavie	350	2,0
Hongrie	300	1,0
U.R.S.S.	300	1,0
Venezuela	235	1,0
Chine	150	1,0
Sierra Leone	140	1,0
Total	21 000[1]	100,0

Source: Baumgardner, L.H. et McCawley, F.X. "Aluminum", dans le U.S. Bureau of Mines, "Mineral Commodity Profiles, 1983", p. 6.

[1] Le résultat de l'addition des données ne donne pas exactement le total indiqué, les chiffres individuels étant arrondis.

Production mondiale de la bauxite

Généralités

Même si la bauxite a été et continue d'être exploitée dans plusieurs pays, en 1986, cinq pays ont fourni 72 % de la production mondiale de bauxite: l'Australie, 35 %; la Guinée, 14 %; la Jamaïque, 8 %; l'U.R.S.S., 8 %; et la Yougoslavie, 6 %.

Les statistiques sur la production de bauxite sont indiquées au Tableau A-2, pour certaines années, de 1960 à 1986. Durant cette période, le classement des pays producteurs de bauxite a subi des changements majeurs: en ce qui a trait au pourcentage de la production mondiale de bauxite, l'Australie est passé d'une production presque nulle à 35 %, la Guinée, de 5 à 14 %, et le Brésil, de près de 0 à 8 %.

Tableau A-2

Production minière mondiale de bauxite, par pays, années selectionnées de 1960 à 1986

	1960	1970	1975	1985	1986[e]
	(milliers de tonnes sèches)				
Australie	70	9 257	27 179	32 400	28 000
Guinée	1 378	2 490	11 862	13 100	11 000
Brésil	121	500	5 583	6 650	6 500
Jamaïque	5 837	12 010	12 054	6 239	6 500
U.R.S.S.	3 556	4 268	4 600	4 600	4 600
Yougoslavie	1 025	2 099	3 136	3 250	3 200
Surinam	3 455	6 022	4 646	3 000	2 800
Hongrie	1 190	2 022	2 950	2 815	2 800
Grèce	884	2 292	3 286	2 500	2 600
Inde	387	1 360	1 785	2 038	2 100
Guyane	2 511	4 417	1 844	1 675	2 000
États-Unis	2 030	2 116	1 559	674	500
Autres pays à économie de marché	4 752	8 133	6 569	3 942	4 100
Autres économies centralisées	444	802	2 210	2 250	2 300
Total	27 643	57 789	89 220	85 133	79 000

Sources: U.S. Bureau of Mines. "Minerals Yearbook, Volume I: 1964", p. 257; 1972, p. 197; 1984, p. 150; et Baumgardner, L.H. "Bauxite", dans le U.S. Bureau of Mines, "Mineral Commodity Summaries 1987", p. 19.

e: estimatif.

Les producteurs à long terme, dont la part du marché mondial de la bauxite a diminué, ont été: la Jamaïque, de 21 à 8 %; le Surinam, de 13 à 4 %; l'U.R.S.S., de 13 à 6 %; la Guyane, de 9 à 3 %; et le groupe de petits pays à économie de marché, de 17 à 5 %.

Le Tableau A-3 indique l'emplacement des principales mines de bauxite dans les pays occidentaux. Ces mines ont représenté quelque 89 % du potentiel de production de bauxite dans les pays occidentaux, en 1985.

Le Tableau A-3 donne également des renseignements sur la propriété des mines de bauxite dans les pays occidentaux. On estime qu'en 1985, six compagnies ont contrôlé 52 % de la capacité de production de bauxite à type métallurgique: Alcoa, 25 %; Alcan, 10 %; Alusuisse, 8 %; Reynolds et Pechiney, 3 % chacun; et Kaiser, 2 %. Les sociétés d'État ont accaparé quelque 25 % de la capacité de production dans les pays occidentaux[1].

Tableau A-3

Principaux producteurs occidentaux de bauxite

Pays	Société	Capacité de production (1985) (milliers de tonnes par année)
Australie	Alcoa of Australia Limited (AA), (Aluminum Company of America, 51 %; Western Mining Corporation Holdings Limited, 30,5 %), Darling Ranges (Jarrahdale, Del Park, Willowdale, et Huntly), WA.	16 000
	Comalco Aluminium Ltd., filiale de la Comalco Limited (CRA Limited [le groupe de la RTZ Corporation PLC], 67 %), Weipa, Cap d'York, Queensland.	11 300
	Nabalco Pty. Ltd. (Swiss Aluminium Australia Ltd. [le groupe Alusuisse], 50 %) Gove, NT.	6 000
	Worsley Alumina Pty Ltd. (Reynolds Australia Alumina Ltd., 40 %; Shell Co. of Australia Ltd., 30 %), Mount Saddleback, Boddington, WA.	3 500

Tableau A-3 (suite)

Pays	Société	Capacité de production (1985) (milliers de tonnes par année)
Brésil	Alcan Aluminio Poços de Caldas S.A. (Alcan Aluminio do Brasil S.A., 100 %) Poços de Caldas, Minas Gerais.	400
	Alcoa Aluminio S.A. (Alcoa, 62,4 %), Poços de Caldas, Minas Gerais.	700
	Cia Brasileira de Aluminio (CBA), Poços de Caldas, Minas Gerais.	700
	Mineraçao Rio do Norte, S.A. (MRN) (Companhia Vale do Rio Doce, 46 %; Alcan Aluminio da América Latina Ltda. 19,36 %; Alcan Aluminium Limitée 4,64 %) Trombetas, région Amazone.	4 500
États-Unis	Aluminum Company of America Bauxite, Arkansas.	900
France	Aluminium Pechiney, SA, Brignoles, Var.	730
Ghana	Ghana Bauxite Company Ltd. (gouvernement du Ghana, 50 %; Alcan, 45 %), Awaso.	500
Grèce	Bauxites Parnasse Mining Co., Parnassus-Ghiona.	1 200
Guinée	Compagnie des Bauxites de Guinée (CBG) (gouvernement de la Guinée, 49 %; Halco (Mining) Inc. [Alcan, 27 %; Alcoa, 27 %; Reynolds, 6 %], 51 %) Le Plateau de Sangarédi, près de Boké.	9 000
	Friguia (gouvernement de la Guinée, 49 %; Frialco [Noranda Inc., 38,5 %; Pechiney 36,5 %], 51 %), Friguia-Kimbo.	2 200

Tableau A-3 (suite)

Pays	Société	Capacité de production (1985) (milliers de tonnes par année)
	Offices de Bauxites de Kindia (OBK) (propriété du gouvernement), Kindia.	2 500
Guyane	Guyana Mining Enterprise Ltd. (Guymine) (propriété [illegible]ouvernement); régions Linden et Kwakwani.	4 200
Inde	Hindustan Aluminium Corp. Ltd. (HINDALCO) (Kaiser, 27 %), Le Plateau de Richughuta, Bihar.	500
Indonésie	P.T. Aneka Tambang (propriété du gouvernement), Bintan Island.	1 600
Jamaïque	Jamalcan (entreprise en participation) (gouvernement de la Jamaïque, 7 %, Alcan, 93 %) Kirkvine, Manchester Parish, et Schwallenburgh, St. Ann Parish.	2 800
	Alcoa Minerals of Jamaica Inc. (Jamalco) (gouvernement de la Jamaïque, 6 %, Alcoa, 94 %), Mocho Mountain, Clarendon Parish.	1 500
	Kaiser Jamaica Bauxite Company (gouvernement de la Jamaïque, 51 %; Kaiser Bauxite Company, 49 %), Discovery Bay, St. Ann Parish.	3 000
Sierra Leone	Sierra Leone Ore & Metal Company Ltd. (SIEROMCO), (Alusuisse, 100 %), Mokanji.	1 000
Surinam	NV Billiton Maatschappij Suriname (Billiton, 76 %; Alcoa, 24 %), Onverdacht, Paranam.	2 500

Tableau A-3 (fin)

Pays	Société	Capacité de production (1985) (milliers de tonnes par année)
	Suriname Aluminum Company (Suralco) (Alcoa, 100 %), Moengo.	2 000
Turquie	Etibank General Management (propriété du gouvernement) Mortas et Dugankuzu.	500
Yougoslavie	Energoinvest, Vlasenica, Bosnie-Herzégovine.	1 500
	Total partiel des pays occidentaux	82 130

Sources: London Metals Research Unit, Shearson Lehman Brothers Limited, "Annual Review of the World Aluminium Industry 1987", p. 53; et Australian Mineral Economics Pty. Ltd., "World Aluminium Capacity Handbook 1984-1995", p. 88-117.

Bauxites: qualités réfractaires et abrasifs

Presque toute la production mondiale de bauxite est destinée à la fabrication d'aluminium. Toutefois, quelque 5 à 6 % de la production mondiale, en particulier des bauxites de première qualité à haute teneur en alumine, sont utilisés dans l'industrie des réfractaires, des abrasifs, des produits chimiques et du ciment.

La Guyane et la Chine sont les principales sources de bauxites de qualité réfractaire; la plupart des bauxites sont trop riches en fer pour servir à ces fins. La Guyane, en particulier, s'efforce de mettre sur le marché des bauxites de qualité réfractaire calcinées, qui commandent des prix élevés. Ce pays fournit près de 80 % de la production mondiale de ce type de bauxite.

La Chine exporte de plus en plus de bauxite de qualité réfractaire et de bauxite de qualité réfractaire calcinée, et a commencé à approvisionner les États-Unis, les pays européens et le Japon. Les États-Unis, le Brésil et l'Inde produisent un peu de bauxite de qualité réfractaire, principalement pour la consommation intérieure.

La bauxite de qualité abrasive calcinée est produite à Weipa, en Australie, par la Suralco, au Surinam, par la Compagnie des Bauxites de Guinée, en Guinée, et par la Chine. La Guyane produit aussi de la bauxite de qualité abrasive calcinée.

Production mondiale de l'alumine

La production, par pays, pour certaines années, est indiquée au Tableau A-4.

Tableau A-4

Production mondiale d'alumine, par pays, années sélectionnées de 1960 à 1985

	1960[1]	1970	1980	1985
	(milliers de tonnes)			
Australie	259	2 152	7 246	8 792
U.R.S.S.	2 756	1 814	2 700	4 250
États-Unis	4 953	6 485	6 810	3 465
Allemagne de l'Ouest	577	758	1 608	1 677
Jamaïque	789	1 716	2 456	1 622
Japon	651	1 285	1 936	1 336
Surinam	-	1 014	1 329	1 242
Yougoslavie	107	125	1 058	1 138
Venezuela	-	-	-	1 120
Brésil	60	119	517	1 096
Canada	1 152	1 105	1 202	1 019
France	761	1 130	1 175	877
Hongrie	251	441	805	825
Chine	62	254	750	800
Espagne	-	-	58	725
Guinée	481	610	708	572
Inde	124	327	500	571
Irlande	-	-	-	557
Italie	249	314	900	555
Roumanie	50	210	534	530
Grèce	-	312	494	402
Turquie	-	-	138	113
Royaume-Uni	107	107	102	108
Tchécoslovaquie	-	73	100	75
Allemagne de l'Est	91	54	43	43
Guyane	300	317	214	0
Taiwan	42	42	-	0
Total	13 847	20 765	33 382	33 518

Sources: U.S. Bureau of Mines. "Minerals Yearbook, Volume I: 1964", p. 259-261; 1972, p. 198; 1984, p. 151; et IBA Review, vol. 12, n° 3, janvier-mars 1987, p. 26.

[1] Capacité de production.

-: néant.

La production d'alumine est un peu mieux répartie que celle de la bauxite. En 1986, les cinq grands pays producteurs d'alumine n'ont réuni que 59 % de la production mondiale (contre 72 % pour la bauxite): l'Australie (26 %); l'U.R.S.S. (13 %); les États-Unis (10 %); l'Allemagne de l'Ouest et la Jamaïque (5 % chacun). Dix autres pays ont fourni plus de 2 % de la production mondiale.

Comme pour la bauxite, la production d'alumine a beaucoup évolué de 1960 à 1985. Ainsi, la part de l'Amérique du Nord dans la production mondiale a connu des baisses importantes: les États-Unis, de 36 à 10 %; le Canada, de 8 à 3 %. La part de l'U.R.S.S. a glissé de 20 à 13 %.

La croissance de la production australienne reflète l'augmentation de la production de bauxite. À l'heure actuelle, la production d'alumine de ce pays représente 26 % de la production mondiale, contre 2 % en 1960. Trois pays producteurs de bauxite en Amérique du Sud, soit le Brésil, le Surinam et le Venezuela, qui ne possédaient aucune installation de production d'alumine en 1960, comptent maintenant pour 10 % de la production mondiale.

Le Tableau A-5 énumère les principales usines d'alumine implantées dans les pays occidentaux. Elles ont représenté près de 85 % de la capacité de production totale des pays occidentaux en 1985.

Le Tableau A-5 indique également à qui appartiennent ces usines. On a estimé que six compagnies ont contrôlé 67 % de la production des pays occidentaux, en 1985: l'Alcoa, 27 %; l'Alcan 15 %; la Reynolds, 7 %; la Kaiser, 7 %, et Alusuisse et Pechiney, 5 % chacune. Les sociétés d'État ont contrôlé 26 % du potentiel de production d'alumine des pays occidentaux[2].

Bibliographie

1. Kalpoe, R.A. "Ownership and Control in the World Bauxite Industry", 1980-1990, IBA Review, vol. 12, nº 1, juillet-septembre 1986, p. 19.

2. Kalpoe, R.A. "Ownership and Control in the World Alumina Industry", 1980-1990, IBA Review, vol. 12, nº 3, janvier-mars 1987, p. 19.

Tableau A-5

Principaux producteurs d'alumine des pays occidentaux

Pays	Société et lieu	Capacité (milliers de tonnes par année)
Allemagne de l'Ouest	Alcoa Deutschland Gmbh, Ludwigshafen.	160
	Aluminium Oxid Stade GmbH (Reynolds, 50 %, Vereinigte Aluminium-Werke AG, 50 %), Stade.	600
	Martinswerk GmbH für Chemische und Metallurgische Produktion (Alusuisse, 99 %), Bergheim Erft.	350
Australie	Alcoa of Australia Limited (AA), (Aluminum Company of America, 51 %; Western Mining Corporation Holdings Limited, 30,5 %), Pinjarra, Kwinana et Wagerup, WA.	4 400
	Nabalco Pty. Ltd. (Swiss Aluminium Australia Ltd. [Le groupe Alusuisse], 50 %), Gove, NT.	1 200
	Queensland Alumina Limited (Comalco Limited, 30,3 %; Kaiser Aluminum & Chemical Corporation, 28,3 %; Alcan Aluminium Limitée, 21,4 %; Aluminium Pechiney SA, 20 %)	2 740
	Worsley Alumina Pty Ltd. (Reynolds Australia Alumina Ltd., 40 %; Shell Co. of Australia Ltd., 30 % Kobe Alumina Associates (Australia) Pty Ltd., 30 %), Worsley, WA.	1 000
Brésil	Alcan Aluminio do Brasil S.A., Saramenha, Minas Gerais.	149
	Alcoa Aluminio S.A., (Alcoa 65 %), Poços de Caldas Minas Gerais.	180
	Cia Brasileira de Aluminio, (CBA), Sorocaba, Sao Paulo.	250

Tableau A-5 (suite)

Pays	Société et lieu	Capacité (milliers de tonnes par année)
	Aluminio de Maranhao S.A., (Alumar), (Alcoa Aluminio S.A., 60 %; Billiton Metais SA, 40 %), Sao Luis, Maranhao.	500
Canada	Société d'Electrolyse et de Chimie Alcan Limitée mine de Vaudreuil, Jonquière, Québec.	1 200
Espagne	Alumina Espanola S.A. San Ciprian, Lugo.	800
États-Unis	Aluminum Company of America (Alcoa):	
	Bauxite, Arkansas	350
	Point Comfort, Texas.	1 300
	Kaiser Aluminum & Chemical Corporation, Gramercy, Louisiane.	750
	Reynolds Metals Company, usine Sherwin, Corpus Christi, Texas.	1 700
France	Aluminium Pechiney SA, Gardanne et La Barasse, Var.	1 060
Grèce	Aluminium de Grèce, S.A. (gouvernement de la Grèce, 40 %; Pechiney, 60 %), Distomon.	600
Guinée	Friguia (gouvernement de la Guinée, 49 %; Frialco [Noranda Inc., 38,5 %; Pechiney, 36,5 %], 51 %), Kimbo.	700
Inde	Bharat Aluminium Company Limited (BALCO), Korba, Madhya Pradesh.	200
	Hindustan Aluminium Corp. Ltd. (HINDALCO) (Kaiser, 27 %) Renukoot, Uttar Pradesh.	270
Irlande	Aughinish Alumina Limited (Alcan, 65 %; Billiton, 35 %), Aughinish Island.	800

Tableau A-5 (suite)

Pays	Société et lieu	Capacité (milliers de tonnes par année)
Italie	Eurallumina S.p.A., Porto Vesme, Sardinia.	720
Jamaïque	Jamalcan (entreprise en participation) (gouvernement de la Jamaïque, 7 %; Alcan, 93 %), les usines Ewarton et Kirkvine.	1 180
	Clarendon Alumina Production Ltd. (gouvernement de la Jamaïque 6 %, Alcoa 94 %, exploité par l'État) Clarendon.	800
Japon	Nippon Light Metal Company, Ltd. (Alcan, 50 %), Shimizu.	300
	Showa Aluminium Industries K.K., Yokohama.	300
Royaume-Uni	British Alcan Aluminium plc, Burntisland.	125
Surinam	Paranam Refinery Joint Venture (Suralco, 55 %, NV Billiton 45 %), Paranam.	1 400
Turquie	Etibank General Management (propriété du gouvernement) Seydisehir.	200
Venezuela	Interamericana de Alumina CA (Interalumina), Corporacion Venezolana de Guayana [CVG], 85 %; Swiss Aluminium Ltd. [Alusuisse], 15 %; Ciudad Guyana.	1 000
Yougoslavie	Energoinvest (propriété du gouvernement) les usines Bachevica (Mostar), Bosnie-Herzégovine, et l'usine Birac, Zvornik Bosnie-Herzégovine.	860
	Kombinat Aluminijuma Titograd (KAT) (propriété du gouvernement), Titograd, Monténégro.	200

Tableau A-5 (fin)

Pays	Société et lieu	Capacité (milliers de tonnes par année)
	Kombinat Aluminijuma Jadral, (propriété du gouvernement), Jadral, Obrovac, Dalmatie.	300
	Total partiel des pays de l'Occidert	28 644

Sources: London Metals Research Unit, Shearson Lehman Brothers Limited, "Annual Review of the World Aluminium Industry 1987", p. 57; et Australian Mineral Economics Pty. Ltd., "World Aluminium Capacity Handbook 1984-1995", p. 56-79.

ANNEXE 3: PRODUCTION DE L'ALUMINE À PARTIR DE SOURCES NON BAUXITIQUES

Données préliminaires

Les procédés proposés pour traiter les sources non bauxitiques d'alumine se divisent généralement en deux types: i) les procédés acides, axés sur la dissolution de la source d'alumine dans un acide minéral[1,2,3], et ii) les procédés de frittage, axés sur le chauffage de la source d'alumine avec du calcaire et peut-être de la soude (carbonate de sodium) pour solubiliser l'alumine. Ces procédés sont analysés plus en détail dans la présente Annexe.

Durant les années 30, une méthode d'extraction de l'alumine contenue dans la syénite néphélinique a été mise au point en Union Soviétique (URSS). Elle a été utilisée pour la première fois à l'échelle industrielle pour récupérer l'alumine de mines de phosphates exploitées dans la presqu'île de Kola, au début des années 50[4]. Les sous-produits, soit le ciment, la soude et la potasse, ont augmenté la rentabilité du procédé. La capacité annuelle de cette opération, effectué dans deux usines situées près de Murmansk et de Leningrad, est estimée à 350 000 tonnes. Environ 500 000 t/a d'alumine sont produites dans une troisième usine implantée à Achinsk, en Sibérie, mais de toute évidence, cette usine éprouve des problèmes de rentabilité. De l'alunite a été utilisée comme matière première pour produire de l'alumine à Kirovabad, dans la république socialiste de l'Azerbaïdjan. Le procédé employé produisait du sulfate de potassium et de l'acide sulfurique comme sous-produits. En 1975[4], l'usine fonctionnait apparemment normalement, à une capacité annuelle d'environ 200 000 t, après de nombreuses années difficiles. Les procédés soviétiques ont été mis au point au moment où le gouvernement s'interrogeait beaucoup sur la qualité de ses importations en bauxite ou en alumine, et où les co-produits permettaient de rentabiliser davantage les procédés.

Outre ces installations industrielles en Union Soviétique, plusieurs usines-pilotes et usines-témoins ont été implantées, notamment en Europe et aux États-Unis. Le gouvernement américain, conjointement avec plusieurs sociétés, a exploité plusieurs usines de ce type. Durant et après la Seconde Guerre mondiale, des procédés de frittage des argiles et des anorthosites ont été utilisés à titre expérimental, et un procédé d'extraction à l'acide chlorhydrique pour la récupération de l'alumine à partir de l'argile alumineuse a été utilisé dans une mini-usine. Alcan et Aluminum Péchiney ont examiné le "procédé H^+" qui utilisait de l'acide sulfurique pour l'extraction de l'alumine contenue dans les argiles et les schistes, dans une grande usine pilote.

Le groupe Alumet fait des essais d'exploitation sur une usine-pilote, d'une capacité de 24 t/j, pour extraire l'alumine contenue dans l'alunite, au Colorado, mais il n'a pas construit d'usine en vue d'une production commerciale.

Types de gisements

a) Anorthosite

Parmi les diverses sources potentielles non bauxitiques d'alumine au Canada, l'anorthosite est la plus commune, et se rencontre dans de vastes gisements au Québec et au Labrador. L'anorthosite est une roche composée principalement de feldspath de type plagioclase, et de quantités moindres de minéraux accessoires. La teneur en alumine peut varier considérablement; des analyses d'anorthosites canadiennes ont indiqué des teneurs en Al_2O_3 variant de 23 à 34 %.

Le vaste complexe d'anorthosite du lac Saint-Jean, au Québec, (environ 20 000 km^2) a produit de nombreux échantillons titrant 27 à 30 % de Al_2O_3. L'accessibilité et la superficie de ce complexe pourraient en faire l'un des premiers gisements pour la production de l'alumine à partir de l'anorthosite. La bordure occidentale de ce complexe se trouve dans la région de Jonquière et de l'Isle Maligne, là où est située une grande partie de la capacité d'électrolyse de l'Alcan. Même si ce complexe contient aussi divers types de roches à teneurs plus faibles en alumine, les analyses révèlent que des portions importantes contiennent au moins 27 % de Al_2O_3.

Des échantillons prélevés sur les affleurements d'un corps minéralisé d'anorthosite (La Bostonnais, 70 km^2) assez petit, au sud du complexe du Lac Saint-Jean, et à environ 35 km au nord-est de La Tuque, étaient riches en alumine et pauvres en fer[5]. La teneur en fer doit être faible, sinon la quantité d'alumine récupérée par sintérisation est diminuée.

L'anorthosite du lac Doré, à Chibougamau (Québec), démontre une répartition importante des analyses d'alumine reportées[5,6], mais une évaluation systématique de la région pourrait mettre en évidence des secteurs riches en alumine.

L'anorthosite de la région de Morin, au nord-ouest de Montréal, a fait l'objet de nombreuses études. Les analyses révèlent une teneur assez élevée en alumine (environ 27 % en moyenne) dans des échantillons d'anorthosite, qui représenteraient environ le quart du matériau présent dans le complexe de 2 000 km^2.[7]

Un petit gisement d'anorthosite, près du lac Opawica (Québec), affiche une forte teneur en alumine; toutefois, les échantillons ont été restreints. Beaucoup d'autres complexes d'anorthosite se trouvent au Québec; quelques analyses ont été faites, mais nombre de ces gisements sont de petites tailles ou situés dans des régions éloignées. La ceinture de gisements d'anorthosite au Québec pénètre au Labrador.

En Ontario, on retrouve de nombreuses intrusions d'anorthosite en petites quantités. Un échantillon, d'une des plus importantes intrusions, l'anorthosite de Shawmere (800 km^2) dans le nord de l'Ontario, au nord-est de Chapleau, contenait près de 34 % de Al_2O_3. L'anorthosite de ce gisement diffère en ce qu'il est presque soluble dans l'acide chlorhydrique[8]. Les

autres gisements connus en Ontario sont plus petits, quoique des anorthosites riches en alumine ont été trouvées à Whitestone (29 % Al_2O_3) et à Parry Island (33 % Al_2O_3), près de Parry Sound. Des échantillons d'anorthosites de River Valley et de Red Deer, près de Sudbury sont aussi solubles dans l'acide.

On retrouve aussi de l'anorthosite, ailleurs au Canada, mais en général les gisements sont petits ou dans des régions éloignées.

Aucun des gisements susmentionnés n'a été foré de façon systématique, de sorte qu'on ne peut estimer les tonnages de façon précise. Des échantillons décrits dans certains ouvrages, souvent prélevés sur les affleurements, ont habituellement été recueillis afin d'étudier la géologie de la formation ou du complexe, plutôt que pour estimer leur potentiel pour l'extraction de l'alumine. Les régions cartographiées comme complexes d'anorthosites, contiennent aussi des roches à teneur moins élevée, en alumine, comme les gabbros et les ferrogabbros anorthosiques. Dans le cadre d'études menées par le Centre canadien de la technologie des minéraux et de l'énergie (ministère fédéral de l'Énergie, des Mines et des Ressources) sur les sources non bauxitiques d'alumine, plusieurs gisements d'anorthosite ont été échantillonnés afin d'évaluer leur teneur en alumine[5].

La superficie d'un complexe anorthosique peut être estimée d'après les cartes géologiques. Une superficie d'un km^2, minée jusqu'à une profondeur d'environ 15 m, donnerait jusqu'à environ 40 millions de tonnes de roche. Si la roche titre 27 % de Al_2O_3, le minerai extrait sur cette superficie peut alimenter une usine d'alumine d'une capacité de 1 million de tonnes par année, pendant une dizaine d'années.

b) Matériaux associés au charbon

D'importantes quantités d'argiles et de schistes alumineux sont associées aux filons houillers. Lorsque ces matériaux sont séparés du charbon au moment de l'extraction, ils forment une partie des résidus houillers. Les argiles sont souvent extraites du charbon par un lavage, dans une installation de préparation du charbon. Lorsque des argiles à forte teneur en alumine, comme la kaolinite, sont présentes, les rejets provenant des lavoirs de charbon peuvent constituer une source d'alumine. Les résidus houillers offrent un potentiel particulièrement intéressant pour la production d'alumine, car la chaleur de combustion du charbon fournit une partie de l'énergie nécessaire au traitement.

La combustion du charbon dans les centrales thermiques produit de grandes quantités de cendres volantes, sous la forme de petites boules d'un diamètre habituellement inférieur à 0,15 mm. Ces cendres volantes, à teneur assez élévée en alumine, pourraient constituer une source potentielle d'alumine; toutefois, en raison de leur insolubilité dans les acides minéraux, elles doivent être sintérisées.

Le gisement de charbon sub-bitumineux de Hat Creek, à 200 km environ au nord-est de Vancouver (C.-B.), constitue une source potentielle d'alumine au Canada. Ses ressources houillères sont actuellement énormes,

soit 625 millions de tonnes (Mt) dans le gîte n° 1 (nord), et 1 milliard de tonnes dans le gîte n° 2 (sud)[9]. Le charbon contient beaucoup de matière inorganique, avec près de 28 % de cendres; la teneur en alumine des cendres provenant du charbon et des résidus houillers varie de 29 à 32 % environ. Les couches de houille sont entrecoupées de couches d'argile, formées principalement de kaolinite[10], du moins dans la partie centrale du gîte n° 1. Dans la partie ouest du gîte, le matériau bentonitique intercalé contient moins d'alumine. D'importantes quantités de sidérite, dont la présence entraîne la formation d'oxyde de fer dans les cendres (environ 4 à 10 % de Fe_2O_3), sont également intercalées dans les argiles. Les matériaux qui recouvrent le charbon sont pauvres en alumine.

On a estimé que si une centrale thermique était construite à Hat Creek, l'extraction d'environ 330 Mt de charbon, pendant 35 ans, produirait de 35 à 50 Mt de déchets houillers alumineux. Une telle production permettrait probablement d'alimenter une usine d'alumine d'une capacité de 200 000 t/a.

Plusieurs mines du sud-ouest de l'Alberta et du sud-est de la Colombie-Britannique produisent du charbon bitumineux métallurgique pour l'exportation. Le charbon, dont les cendres sont riches en alumine (environ 30 % de Al_2O_3 en moyenne[11,12]) est lavé préalablement à son expédition. L'analyse des cendres contenues dans des échantillons de rejets de lavoir indique une teneur en Al_2O_3[13] variant généralement de 25 à 29 %. Ces rejets pourraient également présenter un intérêt particulier comme source d'alumine.

À l'heure actuelle, des centrales électriques exploitées dans deux régions canadiennes produisent de grandes quantités de cendres volantes. En Alberta, les centrales de Wabamun et de Sundance produisent environ 1 Mt/a de cendres volantes titrant près de 23 % de Al_2O_3. En Ontario, des stations thermiques produisent quelque 1,5 Mt/a de cendres volantes, mais la plupart du charbon brûlé dans cette province est importé de l'est des États-Unis, où les cendres contenues dans les charbons sont assez pauvres en alumine. Les stations thermiques du Nouveau-Brunswick et de la Nouvelle-Écosse produisent assez peu de cendres volantes riches en oxyde de fer.

c) Argiles

Aux États-Unis, les kaolinites constituent l'une des sources non bauxitiques d'alumine les plus prometteuses, mais au Canada, les gisements d'argiles riches en alumine sont beaucoup moins nombreux. Chauffées entre 850 et 900 °C environ, les kaolinites sont soumises à un procédé d'extraction acide[14]. Elles peuvent aussi être sintérisées (traitées par frittage).

En ce qui a trait au potentiel de production d'alumine, les meilleurs dépôts d'argiles au Canada sont situés dans la formation de Whitemud, dans le sud de la Saskatchewan. Leurs caractéristiques sont connues grâce à l'analyse des affleurements et à quelques forages, et aussi grâce aux échantillons prélevés là où les argiles ont été extraites pour l'industrie des céramiques. Trois zones productrices possibles ont été

localisées, même si les ressources estimées de chacune sont inférieures à 1 Mt[15]. Les estimations ont été faites en fonction du relief et en supposant que les couches sont continues et à strates horizontales.

Au sud-est du village de Flintoft se trouve un gisement de près de 30 Mt d'argile titrant généralement 26 % de Al_2O_3. À proximité de Willows, quelque 200 Mt d'argile contiennent, en moyenne, 24 % de Al_2O_3. Au nord de Willow Bunch, peut-être 40 Mt d'argiles titrent en moyenne 30,5 % de Al_2O_3. D'autres travaux de forage sont requis pour confirmer ces estimations. La partie inférieure de la formation de Whitemud comprend des sables kaoliniques qui, s'ils étaient enrichis, pourraient constituer des ressources supplémentaires. On peut accéder à ces zones par chemin de fer ou par la route; on peut trouver du charbon ligniteux dans un rayon de 30 à 35 km. La société Ekalon Industries Inc. de Calgary étudie la possibilité d'extraire du kaolin des sédiments de Whitemud, près de Wood Mountain.

Dans le bassin de la rivière Moose, au sud-ouest de la pointe de la baie James, dans le nord de l'Ontario, de vastes gisements d'argiles affleurent sur les rives de la rivière[16]. Les argiles ont aussi été intersectées par forage, mais quelques analyses ont été faites, bien que des échantillons aient contenu de l'"argile réfractaire", indice d'une teneur assez élevée en alumine. L'argile est entremêlée en grande partie de sable quartzeux, et certaines venues sont peu accessibles. Certains secteurs les plus prometteurs se trouvent dans la région de la rivière Matagami, près de la limite entre les cantons de Kipling et Sandborn, où une couche très épaisse d'argile réfractaire mêlée de matériau carboné a été découverte et dont un échantillon titrait 31 % de Al_2O_3. Des quantités considérables d'argile sont associées aux charbons ligniteux près d'Onakawana, entre les rivières Abitibi et Matagami. Des argiles réfractaires foncées contenant des matériaux carbonés recouvrent les filons houillers et séparent les deux principaux filons. L'exploitation de ce gisement permettrait d'accroître le potentiel de ces argiles comme source d'alumine, mais beaucoup d'autres données sont requises. La voie ferrée de l'Ontario Northland Railway, qui traverse le gisement houiller d'Onakawana, constitue une bonne voie d'accès à ce site.

Les gisements d'argile kaolinique situés ailleurs au Canada sont généralement trop petits pour être reconnus comme sources de matériaux pour l'extraction de l'alumine[16], à l'exception possible d'un gisement qui longe la vallée de la Musquodoboit, en Nouvelle-Écosse, à environ 70 km au nord-est de Halifax. Des travaux de forage devront être effectués à grande échelle pour évaluer les réserves de ce gisement à composition variable (21 à 35 % de Al_2O_3).

d) Syénite néphélinique

La syénite néphélinique est une roche ignée pauvre en quartz, dont les principaux minéraux sont la néphéline, les feldspaths et quelques minéraux ferrugineux.

Dans le sud de l'Ontario, le gisement de Blue Mountain, à environ 50 km au nord-est de Peterborough, est exploité afin d'alimenter en syénite néphélinique l'industrie du verre et des céramiques. Si le minerai extrait était destiné à la production d'alumine, ce marché établi devrait être abandonné. Même si le gisement est étendu, peut-être quelque 100 Mt, sa teneur en alumine est sensiblement plus faible (23,5 %) que celle des anorthosites.

D'autres gisements de syénite néphélinique, près de Bancroft (Ontario), sont soit trop petits, soit trop pauvres en néphéline et riches en minéraux ferrugineux[17]. Durant les années 40, quelques gisements ont fait l'objet d'études approfondies visant à évaluer leur potentiel pour la production d'alumine. On avait alors conclu que malgré la présence de grandes quantités titrant 24 % en moyenne de Al_2O_3, les tonnages de matériau plus riche (plus de 28 % de Al_2O_3) étaient insuffisants.

Procédés d'extraction de l'alumine

a) Procédés d'extraction acides

Les procédés acides sont les plus communément utilisés pour extraire l'alumine contenue dans les argiles et les matériaux kaoliniques, comme les résidus houillers, dans lesquels le principal matériau alumineux est la kaolinite[18]. Pour solubiliser l'alumine, l'argile doit être traitée à chaud ou calcinée. Si les résidus houillers sont traités, le matériau carboné peut fournir le combustible nécessaire à la calcination. La combustion sur lit fluidisé, à une température maintenue entre 750 et 850 °C, peut servir à calciner la kaolinite contenue dans les résidus houillers d'un gisement tel que celui de Hat Creek. On peut alors extraire quelque 85 % de l'alumine par lixiviation dans l'acide[19]. Des échantillons d'argile prélevés en Saskatchewan et dans le nord de l'Ontario ont été traités, en laboratoire, par extraction à l'acide[14,20,21]. Après calcination, l'alumine peut être extraite en présence d'acide chlorhydrique, sulfurique ou nitrique.

Divers procédés ont été utilisés pour traiter les solutions d'attaque acide. Un procédé de récupération de l'alumine après lixiviation dans l'acide chlorhydrique a fait l'objet d'une étude approfondie[21,22]; le chlorure d'aluminium hexahydraté est précipité par addition de HCl gazeux dans la solution (barbotage), puis $AlCl_3.6H_2O$ est décomposé, par calcination en lit fluidisé, en alumine et en HCl, pour recyclage[23]. Une double précipitation par barbotage de HCl améliore la pureté de $AlCl_3.6H_2O$[24]. De l'alumine brute peut également être obtenue par évaporation à siccité de la solution de lixiviation, suivie d'une calcination. L'alumine brute peut ensuite être purifiée par un procédé Bayer modifié[25]. Ce procédé de lixiviation acide-purification dans la soude produit de l'alumine conforme aux prescriptions. Il requiert normalement beaucoup d'énergie, mais il est réalisable là où la chaleur résiduelle, peu coûteuse, dégagée par une centrale thermique[26] peut être utilisée pour évaporer les solutions.

Dans le procédé H+ mis au point par Aluminium Péchiney et Alcan, une solution de lixiviation chaude à base d'acide sulfurique est refroidie pour précipiter un sulfate d'aluminium hydraté; le sulfate d'aluminium est dissous, et du $AlCl_3.6H_2O$ est précipité et calciné pour produire de l'alumine[27]. Ce procédé a été appliqué aux argiles et aux schistes houillers dans une usine-pilote produisant de 15 à 20 t/j d'alumine. Le procédé H+ semble convenir aux résidus houillers et aux argiles kaoliniques.

La lixiviation des argiles par des procédés à base d'acide nitrique a été étudiée[28], mais le recyclage de l'acide nitrique a présenté quelques difficultés.

Les procédés d'extraction acides peuvent également être appliqués à d'autres matériaux que l'argile. Les anorthosites, généralement insolubles dans l'acide sulfurique et l'acide chlorhydrique, peuvent être solubilisées par fusion, suivie d'un refroidissement rapide. Toutefois, certaines anorthosites sont solubles dans les acides[30]; des échantillons prélevés à Harp Lake (Labrador) ainsi qu'à Shawmere et River Valley (Ontario) ont été lixiviés dans l'acide chlorhydrique chaud[8]. Mais la lixiviation des anorthosites dans l'acide présente des inconvénients, car le calcium et le sodium forment des sels, ce qui entraîne des pertes d'acide. L'addition d'acide fluosilicique dans la solution permet d'accélérer significativement la dissolution de l'anorthosite dans l'acide chlorhydrique[30].

Les procédés acides présentent quelques inconvénients, notamment en ce qui a trait à la teneur en impuretés de l'alumine, comme le magnésium et le phosphore. Ce problème est particulièrement aigu lorsque la teneur en impuretés est assez élevée, mais il peut être réglé par l'utilisation du procédé de lixiviation acide-purification par la soude.

b) Procédés de frittage (sintérisation)

Les procédés de frittage conviennent généralement mieux que les procédés acides au traitement de certains matériaux, tels que l'anorthosite et la syénite néphélinique, riches en oxydes de métaux alcalino-terreux et de métaux alcalins avides d'acides. Dans les procédés de frittage, le matériau alumineux est concassé, broyé, mélangé avec du calcaire et parfois de la soude (carbonate de sodium), puis transformé en boulettes ou en briquettes avant d'être fritté, à une température de 1 200 à 1 300 °C. Du silicate dicalcique insoluble (Ca_2SiO_4) se forme pendant le frittage. Après refroidissement, les composés d'alumine solubles sont extraits par lixiviation du sinter dans une solution de carbonate de sodium.

Il existe plusieurs procédés de frittage. Dans le procédé chaux-soude, on ajoute du Na_2CO_3 en quantité suffisante pour former de l'aluminate de sodium à partir de l'alumine[31]. Dans le procédé chaux-frittage[32], on n'ajoute pas de Na_2CO_3; le sinter obtenu décrépite spontanément par refroidissement dû à une transformation cristallographique dans le Ca_2SiO_4, ce qui rend le broyage inutile. Dans un procédé chaux-frittage modifié, on ajoute du Na_2CO_3 afin d'obtenir 40 à 60 % d'alumine sous forme

d'aluminate de sodium; la quantité d'alumine extraite par ce procédé est plus grande que lorsque la charge ne contient pas suffisamment de soude, et le sinter est généralement en décrépitation[33]. La présence d'oxydes de fer[34] et de magnésium[35] peut nuire à l'extraction de l'alumine dans les procédés de frittage; une teneur trop élevée en oxyde de sodium dans le sinter a tendance à inhiber la décrépitation.

Le sinter, broyé au besoin, est lixivié dans une solution de carbonate de sodium, pour extraire l'alumine. De la silice est également lixiviée et doit être éliminée par désiliciage; la solution est généralement chauffée avec addition de chaux (CaO ou $Ca(OH)_2$)[36]. Après filtration du produit de désiliciage, la solution est carbonatée par du dioxyde de carbone pour précipiter l'hydroxyde d'aluminium, qui est séparé, lavé et calciné pour obtenir l'alumine. Le carbonate de sodium présent dans le filtrat est récupéré par évaporation, puis recyclé jusqu'à l'étape de lixiviation et de frittage, au besoin.

Les procédés de frittage ont été appliqués, en laboratoire, à plusieurs sources potentielles d'alumine au Canada. Des anorthosites ont été examinées, y compris des échantillons prélevés dans des gisements du lac Saint-Jean[32,33], de La Bostonnais[37], de Chibougamau[37] et de Shawmere[38], et jusqu'à 98 % d'alumine ont été extraits du sinter, dans des conditions favorables. Le traitement de la syénite néphélinique par frittage a été étudié dans les années 40. Les cendres volantes, résistantes à l'acide, peuvent être traitées par le procédé chaux-frittage modifié; au cours d'essais en laboratoire effectués sur des cendres volantes émises par des centrales électriques alimentées au charbon en Alberta, plus de 85 % d'alumine on été extraits des sinters, dans des conditions convenables[33]. Des résultats semblables ont été obtenus avec des cendres volantes provenant lors d'essais de combustion du charbon de Hat Creek, après élimination partielle de l'oxyde de fer par séparation magnétique[39]. Les argiles kaoliniques peuvent également être traitées par le procédé chaux-frittage modifié[40], quoique les procédés acides soient généralement plus appropriés. Si les résidus houillers contiennent des argiles, ils peuvent être directement frittés, et le matériau combustible peut fournir une partie de l'énergie nécessaire au frittage[41].

Les procédés de frittage, lorsqu'ils sont utilisés dans des conditions appropriées, permettent d'attaquer bon nombre de matériaux résistants à l'acide, ainsi que les matériaux qui requièrent une grande consommation d'acide. Toutefois, ils génèrent beaucoup de résidus. Ces résidus sont constitués surtout de silicate dicalcique, et représentent près de huit fois la masse de l'alumine obtenue. Lorsque les conditions du marché sont adéquates, les déchets peuvent être utilisés pour fabriquer du ciment Portland[42]. Les besoins énergétiques associés au frittage sont élevés, et il est difficile de respecter les prescriptions en matière de teneur en silice de l'alumine.

De toute évidence, l'extraction de l'alumine à partir de diverses sources canadiennes est techniquement réalisable. Le procédé d'extraction au HCl et de purification par la soude, qui a été testé en laboratoire, peut produire de l'alumine conforme aux normes strictes pour l'alumine destinée aux cuves d'électrolyse. S'il le faut, on peut utiliser d'autres

procédés pour obtenir de l'alumine nécessaire à la fabrication d'aluminium de qualité secondaire. Les procédés acides sont probablement un peu plus perfectionnés que les procédés de frittage.

Les coûts en capitaux et les coûts d'exploitation de ces procédés sont très difficiles à estimer d'après les données limitées accessibles. Le coût des matériaux non bauxitiques pour la fabrication de l'alumine n'est guère compétitif, car la calcination, le frittage et l'évaporation des solutions nécessitent beaucoup d'énergie.

Le procédé d'extraction acide-purification par la soude, axé sur l'utilisation de résidus houillers comme matières premières, est sans doute le procédé le plus intéressant au Canada. L'extraction de l'alumine par le procédé H+ d'Alcan-Péchiney est également réalisable, à un coût comparable. L'alumine ainsi produite devrait coûter au moins 10 % de plus, selon des estimations optimistes des coûts, que celle extraite de la bauxite par le procédé Bayer. Le procédé de frittage est moins rentable dans le cas des résidus houillers. Il pourrait être rentabilisé si les résidus servaient à fabriquer du ciment.

Les anorthosites de l'est du Canada constituent indubitablement une source susceptible, en théorie, de satisfaire les besoins en alumine du pays pendant longtemps. L'aluminium obtenu à partir de cette source par un procédé de frittage qui requiert beaucoup d'énergie, serait à l'heure actuelle au moins 40 % plus coûteux que l'alumine produite à partir de la bauxite par le procédé Bayer.

L'extraction d'alumine des argiles par les procédés H+ ou à l'acide chlorhydrique requiert plus de combustible que celle obtenu par des procédés similaires appliqués aux résidus houillers.

Bibliographie

1. Gummer, W.K., "Potential Sources of Alumina in Canada", CIM Bulletin, vol. 45, nº 486, octobre 1952, p. 605-610.

2. Bliss, N.W., "Non-bauxite Sources of Alumina: A Survey of Canadian Potential", CIM Bulletin, vol. 69, nº 774, octobre 1976, p. 75-85.

3. Greig, E.W. et Adams, M.J., "Non-bauxite Sources of Alumina", dans N.J. Connell (éd.), "World Aluminum Survey", Londres, Metal Bulletin Ltd., 1977, p. 73-82.

4. Shabad, T., "Raw Material Problems of the Soviet Aluminium Industry", Resources Policy, vol. 2, nº 4, décembre 1976, p. 222-234.

5. Buchanan, R.M., "A Survey and Appraisal of Published Information on Anorthosite in Canada", Énergie, Mines et Ressources Canada, CANMET, Laboratoires des sciences minérales, rapport non publié, 1979.

6. Paré, C., "Sources de minerai propre à l'extraction de l'alumine et autres substances connexes", Québec, ministère des Richesses naturelles, document public 271, 1974, 17 p.

7. Papezik, V.S., "Geochemistry of Some Canadian Anorthosites", Geochimica et Cosmochimica Acta, vol. 29, nº 6, juin 1965, p. 673-709.

8. Hamer, C.A., "Hydrochloric Acid Leaching of Alumina from Ontario and Quebec Anorthosites", Énergie, Mines et Ressources Canada, CANMET, Laboratoires des sciences minérales, rapport MRP/MSL 81-91 (IR), 1981, 8 p.

9. Campbell, D.D., Jory, L.T. et Saunders, C.R., "Geology of the Hat Creek Coal Deposits", CIM Bulletin, vol. 70, nº 782, juin 1977, p. 99-108.

10. Dean, R.S., "Evaluation of the Hat Creek, British Columbia, Coal Deposits as Potential Sources of Non-bauxitic Alumina: A Preliminary Mineralogical Investigation", Énergie, Mines et Ressources Canada, CANMET, Laboratoires des sciences minérales, rapport MRP/MSL 79-138 (IR), 1979, 24 p.

11. Tibbetts, T.E., "Évaluation des houilles commerciales canadiennes: Saskatchewan, Alberta et Colombie-Britannique - 1975", Énergie, Mines et Ressources Canada, CANMET, rapport 76-41, 1976, 59 p.

12. Tibbetts, T.E., Montgomery, W.J. et Faurschou, D.K., "Répertoire d'analyse des charbons marchands canadiens - Supplément nº 3", Énergie, Mines et Ressources Canada, CANMET, rapport 79-7, 1979, 81 p.

13. Winer, A.A. et Tibbetts, T.E., "Les matériaux associés au charbon comme source non-bauxitique virtuelle d'alumine", Énergie, Mines et Ressources Canada, CANMET, rapport 78-31, 1978, 14 p.

14. Quon, D.H.H., "Acid Processes for the Extraction of Alumina: Part I. Kaolinized Sand from Fir Mountain, Saskatchewan", Énergie, Mines et Ressources Canada, CANMET, Laboratoires des sciences minérales, rapport MRP/MSL 77-384 (IR), 1977, 33 p.

15. Bell, K.E., "The Resource Potential of the Whitemud Formation in Saskatchewan as a Non-bauxite Source of Alumina", Énergie, Mines et Ressources Canada, CANMET, Laboratoires des sciences minérales, rapport MRP/MSL 78-102 (IR), 1978, 21 p.

16. Bell, K.E., "Canadian Clay Resources for Alumina: Summary report", Énergie, Mines et Ressources Canada, CANMET, Laboratoires des sciences minérales, rapport MRP/MSL 79-52 (IR), 1979, 26 p.

17. Hewitt, D.F., "Nepheline Syenite Deposits of Southern Ontario", Ontario Department of Mines Annual Report, vol. 69, partie 8, 1960, 194 p.

18. Hamer, C.A., "Procédés d'extraction aux acides de l'alumine à partir de matériaux autres que la bauxite", Énergie, Mines et Ressources Canada, CANMET, rapport 77-54, 1977, 41 p.

19. Hamer, C.A., "Alumina from Fluidized Bed Combustion Ash of Hat Creek, B.C., Coaly Waste - Part I: Acid Extraction", Énergie, Mines et Ressources Canada, CANMET, Laboratoires des sciences minérales, rapport MRP/MSL 79-21 (IR), 1979, 26 p.

20. Quon, D.H.H. et Lemieux, G.R., "Acid Processes for the Extraction of Alumina: Part II. Clays from Willows, Willow Bunch, and Flintoft, Southern Saskatchewan", Énergie, Mines et Ressources Canada, CANMET, Laboratoires des sciences minérales, rapport MRP/MSL 78-107 (IR), 1978, 30 p.

21. Quon, D.H.H. et Lemieux, G.R., "Acid Process for the Extraction of Alumina: Part III. Acid Extraction of Alumina from an Ontario Clay; Part IV, Alumina Purification", Énergie, Mines et Ressources Canada, CANMET, Laboratoires des sciences minérales, rapport MRP/MSL 78-210 (IR), 1978, 44 p.

22. Poppleton, H.O. et Sawyer, D.L., "Hydrochloric Acid Leaching of Calcined Kaolin to Produce Alumina", dans W.S. Peterson (éd.), "Light Metals 1977, vol. 2", New York, The Metallurgical Society of AIME, 1977, p. 103-114.

23. Marchessaux, P., Plass, L. et Reh, L., "Thermal Decomposition of Aluminium Hexahydrate Chloride ($AlCl_3x6H_2O$) for Alumina Production", dans W.S. Peterson (éd.), "Light Metals 1979", New York, The Metallurgical Society of AIME, 1979, p. 189-204.

24. Hamer, C., "Alumina from Fluidized-bed Combustion Ash of Hat Creek, B.C., Coaly Waste - Part II. Alumina Recovery and Purification by an HCl process", Énergie, Mines et Ressources Canada, CANMET, Laboratoires des sciences minérales, rapport MRP/MSL 79-144 (IR), 1979, 35 p.

25. Hamer, C.A., "Alumina from Fluidized-bed Combustion Ash of Hat Creek, B.C., Coaly Waste - Part III. Alumina Recovery and Purification by an HCl-caustic Process", Énergie, Mines et Ressources Canada, CANMET, Laboratoires des sciences minérales, rapport MRP/MSL 80-152 (IR), 1980, 22 p.

26. Palmer, J., "Capital and Operating Cost Estimates for Producing Alumina from Hat Creek Coaly Waste Using HCl - Caustic Purification Processes", Énergie, Mines et Ressources Canada, CANMET, Laboratoires des sciences minérales, rapport MRP/MSL 80-50 (IR), 1980, 18 p.

27. Cohen, J. et Mercier, H., "Recovery of Alumina from Non-bauxite Raw Materials", dans S.R. Leavitt (éd.), "Light Metals 1976, Vol. 2", New York, The Metallurgical Society of AIME, 1976, p. 3-18.

28. Margolin, S.V. et Hyde, R.W., "The ADL Nitric Acid Process for Recovery of Alumina from Aluminum-bearing Minerals", dans H. Forberg (éd.), "Light Metals 1974, Vol. 2", New York, The Metallurgical Society of AIME, 1974, p. 469-487.

29. Gjelsvik, N., "Extracting Alumina from Acid-soluble Anorthosite by the Anortal Process", dans C.J. McMinn (éd.), "Light Metals 1980", Warrendale, PA, The Metallurgical Society of AIME, 1980, p. 133-148.

30. Hamer, C.A., "Extraction of Alumina from Anorthosite by Hydrochloric Acid - Fluosilicic Acid Leaching", Énergie, Mines et Ressources Canada, CANMET, Laboratoires des sciences minérales, rapport MRP/MSL 77-278 (IR), 1977, 31 p.

31. Quon, D.H.H., "Extraction of Alumina from Canadian and American Anorthosite by the Lime-soda-sinter Process", Énergie, Mines et Ressources Canada, CANMET, rapport 76-26, 1976, 31 p.

32. Ripley, L.G., "Extraction of Alumina from Canadian Anorthosite by the Lime-sinter Process", Énergie, Mines et Ressources Canada, CANMET, Laboratoires des sciences minérales, rapport MRP/MSL 76-299 (IR), 1976, 51 p.

33. Ripley, L.G., "Effect of Sodium Carbonate Additions in the Lime-sinter Process and the Subsequent Extraction of Alumina from Five Non-bauxite Sources", Énergie, Mines et Ressources Canada, CANMET, Laboratoires des sciences minérales, rapport MRP/MSL 78-89 (IR), 1978, 42 p.

34. Ripley, L.G., "Magnetic Separation of Iron from Fly Ash and the Extraction of Alumina from the Non-magnetic Fraction by the Modified Lime-sinter Process", Énergie, Mines et Ressources Canada, CANMET, Laboratoires des sciences minérales, rapport MRP/MSL 78-224 (IR), 1978, 53 p.

35. Ripley, L.G., "Effect of Magnesia on the Extraction of Alumina by the Lime-sinter Process", Énergie, Mines et Ressources Canada, CANMET, Laboratoires des sciences minérales, rapport MRP/MSL 80-170 (IR), 1980, 30 p.

36. Lucas, B.H., "Desilication of Sodium Aluminate Solutions", Énergie, Mines et Ressources Canada, CANMET, Laboratoires des sciences minérales, rapport MRP/MSL 80-13 (IR) 1980, 21 p.

37. Ripley, L.G., "Extraction of Alumina from Two Quebec Anorthosites (Chibougamau and La Bostonnais) by the Modified Lime-sinter Process", Énergie, Mines et Ressources Canada, CANMET, Laboratoires des sciences minérales, rapport MRP/MSL 80-164 (IR), 1980, 22 p.

38. Ripley, L.G., "Extraction of Alumina from Five Ontario Anorthosites by the Modified Lime-sinter Process", Énergie, Mines et Ressources Canada, CANMET, Laboratoires des sciences minérales, rapport MRP/MSL 79-137 (IR), 1979, 35 p.

39. Ripley, L.G., "Extraction of Alumina from Fly Ash and Furnace Deposits from Hat Creek Coal by the Modified Lime-sinter Process", Énergie, Mines et Ressources Canada, CANMET, Laboratoires des sciences minérales, rapport MRP/MSL 78-230 (IR), 1978, 60 p.

40. Ripley, L.G., "Extraction of Alumina from Canadian Clay by the Modified Lime-sinter Process", Énergie, Mines et Ressources Canada, CANMET, Laboratoires des sciences minérales, rapport MRP/MSL 78-94 (IR), 1978, 51 p.

41. Ripley, L.G., "Extraction of Alumina from Hat Creek Coaly Waste by the Modified Lime-sinter Process", Énergie, Mines et Ressources Canada, CANMET, Laboratoires des sciences minérales, rapport MRP/MSL 79-101 (IR), 1979, 39 p.

42. Ripley, L.G., "Analyses of the Leach Residues from the Modified Lime-sinter Process and the Possible Utilization of the Residues in the Cement Industry", Énergie, Mines et Ressources Canada, CANMET, Laboratoires des sciences minérales, rapport MRP/MSL 79-35 (IR), 1979, 37 p.

ANNEXE 4

RÉFÉRENCES GÉNÉRALES

Baumgardner, L.H., "Bauxite", dans le United States Bureau of Mines, "Mineral Commodity Summaries 1987", Washington, D.C., U.S. Bureau of Mines, 1987, p. 18-19.

Baumgardner, L.H. et Hough, R.A., "Bauxite and Alumina", dans le U.S. Bureau of Mines, "Minerals Yearbook 1984, Volume 1: Metals and Minerals", Washington D.C., G.P.O., 1986, p. 141-152.

Bokovay, G., "Aluminium", dans l'"Annuaire des minéraux du Canada 1986", Énergie, Mines et Ressources Canada, Rapport minéral nº 35, 1987, p. 6.1-6.18.

Charles Rivers Associates, Incorporated, "Policy Implications of Producer Supply Restrictions: The World Aluminum/Bauxite Market", rapport CRA nº 220, Cambridge, Massachusetts, 1977, 265 p.

Crockett, R.N., "Bauxite, Alumina and Aluminium", Royaume-Uni, Mineral Resources Consultative Committee, Mineral Dossier nº 20, Londres, HMSO, 1978, 53 p.

Drewry, H.P. (Shipping Consultants) LTD., "Ocean Shipping of Bauxite and Alumina", Shipping Study nº 43, mars 1976, Londres, Angleterre, 1976, 78 p.

Dykes, J.F., "Survey of Planned Increases in World Bauxite, Alumina and Aluminium Capacities, 1975-1983", Londres, Angleterre, Aluminium Conductor Development Corporation, 1978, 130p.

Hill, V.G., Robson, R.J. et Ostojic, S., "Some Implications of the Changing Bauxite Supply Patterns", dans J.E. Andersen (éd.), "Light Metals 1982", Warrendale, PA, The Metallurgical Society of AIME, 1982, p. 3-27.

Larsen, J.E., "World Aluminium Mine, Refinery and Smelter Capacity Handbook 1984-1995", Sydney, N.S.W., Australie, Australian Mineral Economics Pty. Ltd., 1985, 123 p.

MacMillan, A., "Annual Review of the World Aluminium Industry 1986", Londres, Angleterre, Shearson Lehman Brothers Limited, 1986, 115 p.

MacMillan, A. et BRIGGS, S., "Annual Review of the World Aluminium Industry 1987", Londres, Angleterre, Shearson Lehman Brothers Limited, 1987, 109p.

Master, P.P., "Evaluation and Geology of Kaolinized Sediments, Wood Mountain, Saskatchewan", dans C.F. Gilboy et L.W. Vigrass (éd.), "Economic Minerals of Saskatchewan, Proceedings of a Symposium held in Regina, November 17 and 18, 1986", Saskatchewan Geological Society, Special Publication nº 8, Regina, 1987, p. 166-181.

McCawley, F.X. et Baumgardner, L.H., "Aluminum", dans A.W. Knoerr (éd.), "Mineral Facts and Problems, Edition 1985", U.S. Bureau of Mines, Mineral Bulletin 675, Washington, D.C., G.P.O., 1985, p. 9-31.

Newbold, D.M. (éd.), "Jobson's Mining Year Book, 1985-1986", Australie, Dun & Bradstreet Pty. Ltd., 1985, 534p.

Papache, C., Berman, H. et Frondel, C., "The System of Mineralogy, Seventh Edition, Vol. I", New York, John Wiley and Sons, Inc., 1944, 834 p.

Power, T., "Fused Minerals - the High Purity High Performance Oxides", Industrial Minerals, n° 214, juillet 1985, p. 37-57.

Stankovitch, I.D., "The Aluminium Industry in Eastern Europe and Communist Asia", Worcester Park, Surrey, Angleterre, Metal Bulletin PLC, 1981, 83 p.

Toon, S., "Abrasive Minerals: Hard Work in Soft Markets", Industrial Minerals, n° 231, décembre 1986, p. 53-71.

Woods, D.W. et Burrows, J.C., "The World Aluminum-Bauxite Market: Policy Implications for the United States, A Charles Rivers Associates Research Report", New York, Praeger Publishers, 1980, 237 p.